



Les nouvelles technologies dans l'étude des milieux humides : exemples d'applications



Avec le soutien financier de :



Dans le cadre du :



PRÉFACES



Les nouvelles technologies associées aux données de télédétection et à des méthodes de traitement appropriées possèdent de nombreux atouts pour les gestionnaires de la biodiversité, par exemple pour inventorier et délimiter les zones humides, mais aussi suivre l'évolution et l'état de conservation des habitats.

En collaboration avec ses partenaires, notamment à travers le Centre de ressources Milieux humides (gestionnaires d'espaces naturels, chercheurs, inspecteurs de l'environnement, producteurs et gestionnaires de données, ...) et dans le contexte de l'appui aux gestionnaires d'aires marines protégées, l'Agence française pour la biodiversité travaille depuis plusieurs années autour de l'utilisation de ces technologies pour accompagner les politiques publiques (séminaires, journées d'échanges techniques, publications, etc.) et promouvoir les innovations.

Ce cahier technique participe ainsi à la mise en lumière des possibilités offertes par ces nouveaux outils au profit des milieux humides.

Souhaitons qu'il apporte sa contribution à notre objectif commun de préservation et de reconquête de la biodiversité.

Christophe AUBEL

Directeur général de l'Agence française pour la biodiversité

Les technologies permettant l'observation de la nature se sont sensiblement développées au cours de ces dernières années. Aujourd'hui, inventaires, prélèvements et mesures de terrain peuvent être corroborés ou précisés par des données spatiales collectées *via* de nouvelles technologies (drones ou satellites).

En milieux humides elles s'avèrent être de véritables alliées en apportant un nouveau regard : sur la topographie des fonds aquatiques, sur des sites difficiles d'accès par voie terrestre ou encore sur le passé.

Aussi élaborées soient-elles, interprétation et jugement ne peuvent être confiés à ces technologies. Le regard et l'expertise des gestionnaires et acteurs de terrain restent indispensables.

Ce cahier technique vise à présenter des exemples d'applications des nouvelles technologies en milieux humides ainsi qu'à diffuser des informations utiles et pratiques. Devant la multiplication des actions faisant recours à ces technologies, la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels poursuit une veille sur le sujet. Elle contribue ainsi à alimenter des échanges techniques ou à rédiger des retours d'expériences avec ses partenaires.

Que ce cahier technique soit vôtre.

Bonne lecture,

Christophe LÉPINE

Président de la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels et
Président du Conservatoire d'espaces naturels de Picardie

SOMMAIRE

- Introduction	p.1
I- Généralités	
- Rappel juridique de la réglementation en matière de survol et de pilotage d'engins motorisés	p. 2-3
- Télédétection : outils, méthodes et exemples d'applications sur les milieux naturels humides	p. 4-5
II- Applications aux zones humides	
- CarHab : un programme où les zones humides sont traitées spécifiquement	p. 6
- Suivi à long terme et à échelle fine des pertes de zones humides par l'utilisation de données LiDAR et de photographies aériennes historiques : l'exemple de la basse vallée du Couesnon	p. 7
- Le LiDAR pour mieux comprendre le fonctionnement et l'historique de la tourbière de Crespy-Greloux	p. 8
- La technologie LiDAR au service de l'étude des mares de la réserve naturelle du Pinail	p. 9
III- Applications au cours d'eau	
- Utilisation de la télédétection pour le suivi des herbiers aquatiques	p. 10
- Caractérisation des méso-habitats fluviaux et technologie drone : domaines de recherche et d'application	p. 11
- Spatialisation d'indicateurs de l'état des ripisylves à l'aide de données LiDAR	p. 12
- Le LiDAR, une opportunité pour mieux appréhender les formes fluviales et leurs végétations, dans le cadre d'actions de surveillance et de suivis scientifiques	p. 13
IV- Applications aux inventaires d'espèces et d'habitats	
- Le SIEL : des données mobilisables pour les gestionnaires d'espaces naturels	p. 14
- Évaluation des zones envahies par la Jussie dans les marais de Grand-Lieu	p. 14
- Expérimentations de l'usage des drones dans le suivi de l'avifaune et la gestion d'un espace naturel protégé	p. 15
V- Autres applications	
- L'inventaire forestier assisté par laser aéroporté en Chartreuse	p. 16
- Application à la recherche archéologique	p. 16
- Sensibiliser par l'esthétique des milieux et paysage	p. 16

INTRODUCTION

Depuis 2015, la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels anime, dans le cadre du plan Loire grandeur nature IV, le réseau d'acteurs des zones humides du bassin de la Loire. Les nouvelles technologies sont un sujet d'actualité pour ces gestionnaires de sites, d'ouvrages ou porteurs d'études.

Les nouveaux moyens viennent compléter les méthodes permettant de mieux comprendre ces milieux. Une journée technique a été organisée pour le réseau en 2017. Les échanges ont alors montré l'intérêt de diffuser et approfondir ces informations utiles, par l'édition d'un cahier technique sur le sujet.

▮ Petites histoires de nouvelles technologies

Un drone, signifiant faux-bourdon en anglais, désigne un aéronef sans pilote à bord et le plus souvent télécommandé.

La dénomination de drone a été attribuée par dérision dans les années 1930 au Royaume-Uni à des Queen Bee, avions-cibles automatisés. Leur vol lent et bruyant ressemblait plus à celui du bourdon à la vie éphémère qu'à celui d'une reine abeille.

Le secteur de la défense constitue le berceau du développement de nombreuses innovations technologiques majeures (le moteur à réaction, le satellite, Internet, le GPS), réutilisées et adaptées dans le domaine civil. Les drones en sont un exemple bien connu. Depuis plus de vingt ans, ces derniers ont été développés et utilisés en France dans un cadre militaire, pour des missions de surveillance et de renseignement. (Source : Fédération professionnelle du drone civile). Leur usage par la société civile se développe de manière exponentielle depuis quelques années, que ce soit pour des besoins professionnels ou pour des activités de loisirs.

Aux États-Unis, Louis Smullin et Giorgio Fiocco du Massachusetts Institute of Technology (MIT) emploient les lasers à rubis pour mesurer précisément la distance Terre-Lune en mai 1962 (Project Luna See), alors que Guy Goyer et Robert Watson du National Center for Atmospheric Research (NCAR) les appliquent parallèlement à la mesure de la hauteur des nuages. Ils appellent leur système « radar optique » (optical radar).

Le grand public découvre les systèmes LiDAR en 1971 lors de la mission Apollo 15, qui cartographie la Lune à l'aide d'un altimètre laser. Alors que le mot LiDAR avait originellement été créé par l'assemblage de « light » et « radar », on considère à partir de cette même époque que leur dénomination est plutôt l'acronyme de « Light Detection And Ranging », à l'instar de radar ou sonar.

▮ Les nouvelles technologies au service des milieux naturels

De plus en plus de gestionnaires d'espaces naturels font appel à ces nouvelles technologies : support de type drone ou satellite, avec les données de télédétection (LiDAR, imagerie satellitaire, etc.), méthodes de traitement associées pour la production d'informations sur leurs territoires d'intervention. Loin de remplacer les observations directes sur le terrain, elles constituent un outil complémentaire permettant d'améliorer la connaissance des milieux suivis, de cartographier de vastes zones ou des terrains peu accessibles ou encore d'étudier l'évolution des territoires par le biais de méthodes automatisables et potentiellement reproductibles. Ces outils peuvent ainsi optimiser la gestion des sites. Leur application aux milieux naturels étant récente, de nombreuses démarches sont encore testées et des outils développés pour répondre aux demandes et besoins croissants des gestionnaires.



LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES UTILISÉS DANS LE DOCUMENT :

CarHAB : Projet de cartographie nationale des habitats naturels et semi-naturels, financé par le ministère en charge de l'environnement

CBNBP : Conservatoire botanique national du bassin parisien

CEN : Conservatoire d'espaces naturels

CRAIG : Centre régional Auvergne-Rhône-Alpes de l'information géographique

DGAC : Direction générale de l'aviation civile

DGPS : Differential Global Positioning System

DREAL : Direction régionale de l'environnement de l'alimentation et du logement

DSAC : Direction de la sécurité de l'Aviation civile

EEA : European Environment Agency

FEDER : Fonds européen de développement régional

GPS : Global positioning system

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière français

LiDAR : Light detection an ranging

MNE : Modèle numérique d'élévation

MNH : Modèle numérique de hauteur

MNT : Modèle numérique de terrain

MNS : Modèle numérique de surface

PAS : Plan d'application satellitaire

PNR : Parc naturel régional

RNN : Réserve naturelle nationale

SAR : Synthetic Aperture Radar

SIEL : Système d'information sur l'évolution du lit de la Loire et de ses affluents

SIG : Système d'information géographique

GÉNÉRALITÉS

Rappel juridique de la réglementation en matière de survol et de pilotage d'engins motorisés

Martial DUQUEYROIX, Direction Générale de l'Aviation Civile

La Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) est garante de la sécurité et de la sûreté du transport aérien français ainsi que des équilibres entre son développement et les objectifs de la transition écologique. Elle est à la fois une autorité réglementaire, un pôle de surveillance de la sécurité, un prestataire de la navigation aérienne et de formation et un partenaire des acteurs aéronautiques.

La DGAC dépend du Ministère de la Transition écologique et solidaire.

L'utilisation en extérieur d'engins volants, même de petite taille, est considérée comme une activité aérienne et relève donc de la réglementation applicable à l'aviation civile.

En particulier, l'utilisation des drones de loisirs au-dessus de l'espace public en agglomération, de même que le survol des sites sensibles ou protégés, est interdit. La hauteur de vol des drones est également réglementée.

Les drones

Deux textes fixent la réglementation pour l'usage des drones civils :

- Arrêté « Espace » du 17 décembre 2015 relatif à l'utilisation de l'espace aérien ;

- Arrêté « Aéronef » du 17 décembre 2015 relatif à la conception, aux conditions d'emploi et aux capacités requises des télépilotes.

Les télépilotes

Le télépilote est la personne contrôlant les évolutions d'un aéronef piloté par télécommande, soit manuellement ou en surveillant la trajectoire lorsque l'aéronef évolue de manière automatique. Le télépilote reste alors en mesure d'intervenir à tout instant sur cette trajectoire pour assurer la sécurité.

Le télépilote doit :

- détecter visuellement et auditivement tout rapprochement d'aéronef ;

- céder le passage à tout aéronef habité et appliquer les dispositions de prévention des abordages prévues par les règles de l'air.

Par ailleurs, la nouvelle réglementation définie par l'arrêté du 18 mai 2018, fixe les modalités relatives à la formation des télépilotes qui utilisent des drones à des fins autres que le loisir. Les dispositions sont entrées en vigueur au 1^{er} juillet 2018.

Trois catégories d'activités

Aéromodélisme

• Utilisation d'un aéronef sans personne à bord (« aéromodèle ») pour le loisir ou la compétition.

Expérimentation

• Utilisation d'un aéronef sans personne à bord pour le développement ou la mise au point d'un prototype ou d'une technologie.

Activités particulières

• Utilisation d'un aéronef sans personne à bord pour toutes autres fins commerciales ou non (autres que loisir, compétition ou expérimentation).

Carte de restriction de vol pour l'aéromodélisme

En collaboration avec la DGAC, le Géoportail met à disposition la carte des zones de restrictions pour l'usage de drones de loisirs en France métropolitaine. Publiée une première fois fin 2016, une version améliorée de la carte (précision des contours des agglomérations et meilleure lisibilité des couleurs) a été diffusée en début d'année 2017.

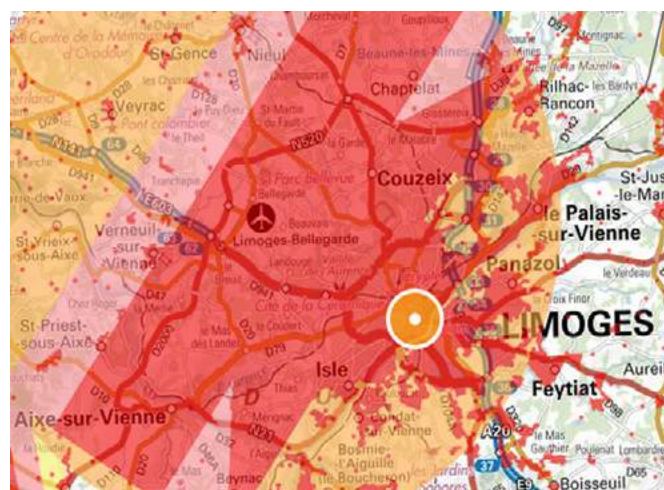
LE SAVIEZ-VOUS ?

Même en-dessous de 150 m, le ciel est fréquenté par diverses catégories d'usagers.

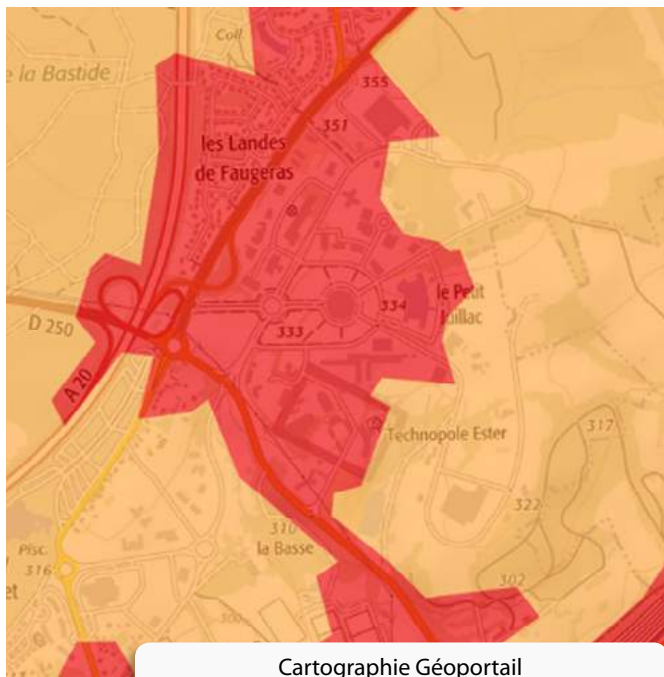
LE SAVIEZ-VOUS ?

AlphaTango, portail public des utilisateurs d'Aéronefs Télépilotes, permet de réaliser en ligne la plupart des démarches administratives nécessaires.

<https://alphantango.aviation-civile.gouv.fr>



Cartographie Géoportail de restriction de vol : Limoges



Cartographie Géoportail
zoom sur le quartier Ester, au nord-est de la ville

Cette carte permet aux usagers de drones de loisirs de visualiser les zones où le vol est autorisé ou non, et si oui, sous quelles conditions. Réalisée avant tout pour les utilisateurs de loisir, elle ne présente pas toutes les informations qui seraient utiles aux professionnels dans le cadre d'activités particulières. Elle peut néanmoins leur fournir une information de premier niveau.

► Activités particulières

La prise de photos ou vidéos aériennes, la réalisation du diagnostic thermique sur une installation industrielle ou encore l'évaluation et la cartographie d'un terrain avant travaux par drone relèvent de la catégorie des activités particulières. Dans ce cadre-là, la réglementation identifie 4 scénarios opérationnels (S-1 à S-4) pour lesquels les conditions d'autorisation ont été définies dans le détail.

Vol à vue		Vol hors vue	
SCÉNARIO 1 - S1 Zone non peuplée - Masse < 25 kg - Hauteur < 150 m - Distance ≤ 200 m	SCÉNARIO 3 - S3 Zone peuplée - Masse ≤ 8 kg - Hauteur < 150 m - Distance ≤ 100 m - Zone exclusion tiers	SCÉNARIO 2 - S2 Zone non peuplée - Hauteur < 50 m - Hauteur < 150 m si masse ≤ 2 kg - Distance ≤ 1 km - Hors des nuages - Zone exclusion tiers	SCÉNARIO 4 - S4 Zone non peuplée - Hauteur < 150 m - si masse ≤ 2 kg - Distance libre - Hors des nuages - Survol tiers possible

Description des scénarios 1 à 4

Tout vol en dehors de ces 4 scénarios ou en déviation à ces conditions ne peut être envisagé que dans le cadre d'une autorisation spécifique, obtenue auprès de la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile (DSAC), après étude au cas par cas d'un dossier justifiant le maintien d'un niveau de sécurité acceptable.

POUR ALLER PLUS LOIN

Le guide « Aéronefs circulant sans personne à bord : activités particulières » est téléchargeable sur <https://ecologique-solidaire.gouv.fr>

Pour les activités particulières, les exigences portent sur :

- la déclaration d'activité et la souscription d'une assurance pour l'opérateur ;
- la formation des télépilotes ;
- les caractéristiques de la machine ;
- les limites opérationnelles ;
- ou encore les conditions d'évolution dans l'espace aérien.

POUR ALLER PLUS LOIN

Découvrez la « Synthèse des démarches relatives aux activités particulières » sur <https://ecologique-solidaire.gouv.fr>

► Sanctions

D'après le Code des transports (Art. L. 6232-12), est puni de six mois d'emprisonnement et de 15 000 € d'amende le fait pour un télépilote de faire survoler, par maladresse ou négligence, par un aéronef circulant sans personne à bord, une zone du territoire français en violation d'une interdiction prononcée dans les conditions prévues au premier alinéa de l'article L. 6211-4.

L'utilisation d'un drone dans des conditions d'utilisation non conformes aux règles édictées pour assurer la sécurité est passible d'un an d'emprisonnement et de 75 000 € d'amende en vertu de l'article L. 6232-4 du Code des transports.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Depuis le 26 décembre 2018, les drones de 800 g ou plus doivent être enregistrés par leur propriétaire sur AlphaTango. Le drone reçoit alors un numéro d'enregistrement de la forme UAS-FR-[numéro].

Suivant l'Arrêté aéronefs (Art. 6), le télépilote ou opérateur professionnel peut se voir suspendre son autorisation en cas de manquement à la sécurité.

Autres textes :

- en cas d'atteinte à l'intimité de la vie d'autrui : 45 000 € d'amende, 1 an de prison (Art 226-1 du Code pénal);
- en cas de mise en danger de la vie d'autrui : 15 000 € d'amende, 1 an de prison (Art 223-1 du Code pénal);
- l'arrêté du 12 octobre 2018 met à jour la liste des zones interdites à la prise de vue aérienne par appareil photographique, cinématographique ou tout autre capteur.

Téledétection : outils, méthodes et exemples d'applications sur les milieux naturels humides

Samuel ALLEAUME, Irstea – UMR TETIS

La télédétection regroupe l'ensemble des techniques permettant de déterminer à distance la nature ou les propriétés physiques ou biologiques d'objets. Les données acquises par satellites sont particulièrement intéressantes pour suivre l'état des surfaces végétalisées. Le signal radiométrique émis et réfléchi par la végétation dépend étroitement de ses caractéristiques liées à sa structure ainsi que des propriétés biophysiques des éléments qui la composent (biomasse, teneur en eau, etc.).

temporelles rapprochées ou mensuelles. Parmi cette diversité, les photographies aériennes et les images Landsat et SPOT ont été les plus fréquemment utilisées pour identifier les milieux humides. Les nouvelles générations d'images de très haute résolution spectrale (Pléiades, SPOT 6&7) ou temporelle (Sentinelle 2, tous les 5 jours) offrent de nouvelles possibilités.

► Les photographies aériennes pour l'étude des zones humides

Historiquement, les photographies aériennes ont été les premiers documents de télédétection utilisés dans le but de cartographier la végétation des zones humides, principalement par photo-interprétation. Les premières études ont conclu que la photographie aérienne est très efficace pour cartographier ce type de milieu de manière détaillée notamment en raison de la finesse du grain de l'image. L'infrarouge a apporté davantage de confort pour détecter la végétation humide. Cependant, indépendamment de l'émulsion (noir & blanc, infrarouge noir & blanc, couleur ou infrarouge couleur) et de la résolution, certains types de végétation humides demeurent encore difficilement identifiables. L'acquisition des images à un instant « t » unique ne permet pas d'accéder aux informations liées à la saisonnalité (période d'inondation, phénologie), utiles pour détecter certaines formations végétales.

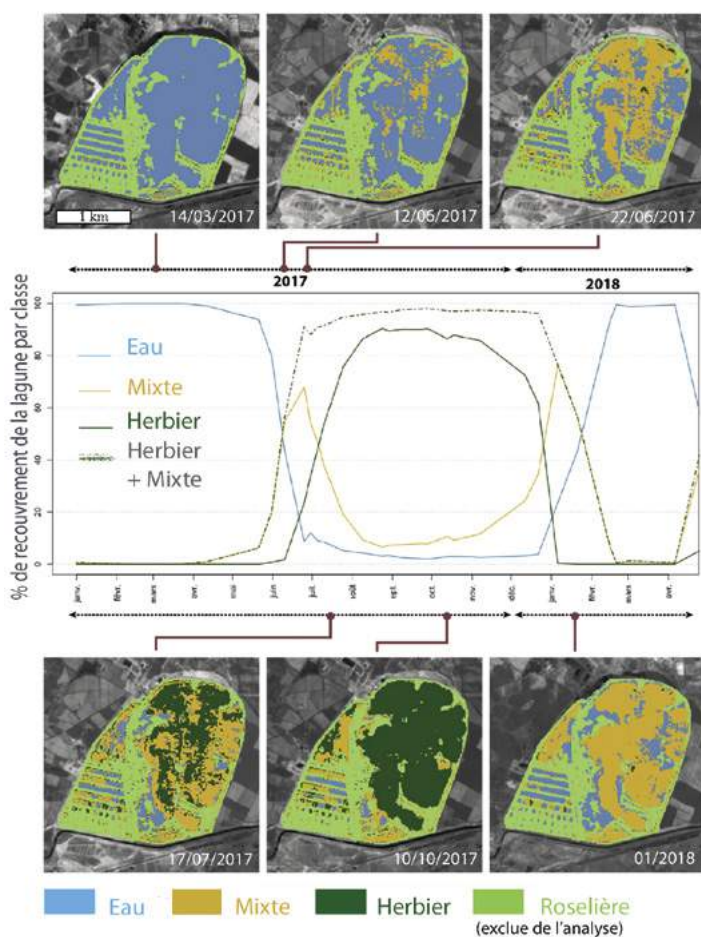
► Télédétection multispectrale pour l'étude des zones humides

La télédétection optique consiste à enregistrer l'énergie émise ou réfléchie par un objet au sol dans différents spectres du rayonnement solaire (visible, proche infra-rouge, moyen infra-rouge). En raison d'une large couverture spatiale et d'une fréquence d'acquisition temporelle relativement élevée, la télédétection optique multispectrale satellitaire se révèle être d'un très bon rapport coût-efficacité pour le suivi des milieux humides.

De nos jours, les capteurs optiques de très haute résolution tels qu'IKONOS et Quickbird, Worldview-2, Pléiades, SPOT 6&7 sont idéaux pour délimiter avec précision des petites surfaces et appréhender les physionomies des végétations humides. Les séries temporelles telles que Landsat 8 et surtout Sentinelle 2, permettent d'accéder à la dynamique des végétations et à leur évolution dans le temps (phénologie).

► L'apport des systèmes LiDAR pour l'étude des zones humides

Dans un système LiDAR, des impulsions laser sont envoyées au sol. Le capteur détecte l'intensité et le temps du retour du signal, ce qui permet d'estimer de manière précise la hauteur de la cible (sol, végétation). Les données « sol » issues du LiDAR permettent la création de modèles numériques de terrains (MNT)



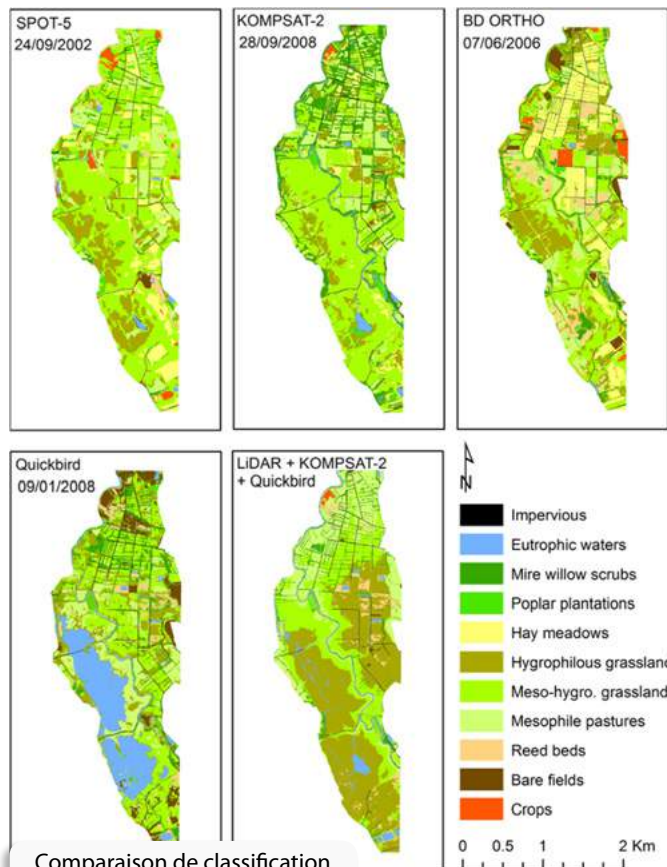
Évolution du couvert de végétation aquatique et de la surface en eau dans la lagune du Grand Bagnas (Hérault) mesurant 5,5 km², à partir de séries d'images Sentinelles 2 entre janvier 2017 et avril 2018 (Menu, 2018). Cartes consultables en ligne : <http://vegmap.irstea.fr>

La télédétection peut être utile pour détecter et caractériser les zones humides qui sont bien souvent des milieux très difficiles d'accès ou sensibles aux piétinements. À l'heure actuelle, une large gamme d'images de télédétection est disponible pour cartographier la végétation des zones humides à différentes échelles spatiales. Ces images issues de capteurs satellitaires, aéroportés ou disposés sur des drones, multi-spectraux ou hyperspectraux aux spectres optiques différents, ont des résolutions spatiales kilométriques, sub-métriques ou centimétriques, ainsi que des résolutions

TROUVER DE LA DONNÉE

Retrouvez de nombreuses données satellitaires et produits thématiques dérivés sur le portail du pôle de données et de services surfaces continentales « Theia » : <http://www.theia-land.fr/>

qui rendent possible la caractérisation de la topographie associée aux zones humides potentielles. De plus, les modèles numériques de hauteur (MNH) ou d'élévation (MNE) permettent d'avoir accès aux structures verticales des végétations contribuant à la discrimination de certains types physiologiques. Par conséquent, le LiDAR est souvent utilisé comme information complémentaire à une classification optique multispectrale. L'article de **Rapinel et al., 2015**, montre qu'un MNT issu du LiDAR augmente la qualité des classifications d'habitats de zones humides de 50 % à 84 %. Le coût ainsi que la non exhaustivité de couverture à l'échelle nationale, limitent encore l'usage des données LiDAR.



Comparaison de classification d'habitats de zones humides par utilisation de différents capteurs et de données LiDAR (**Rapinel et al., 2015**).

LE SAVIEZ-VOUS ?

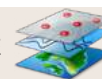


Le coût est d'autant plus élevé que la résolution des données LiDAR et la surface à couvrir sont importantes (la densité du semis ou nuage de points obtenus peut varier de 10 pts/m² à 100 pts/m² en fonction des besoins).

Télédétection radar pour l'étude des zones humides

Les images radar sont principalement utilisées pour la détection des surfaces inondées et pour la mise en évidence des différences de teneur en eau dans les sols nus ou faiblement végétalisés. La plupart des études menées avec des données radar sur les zones humides ont utilisé des images SAR (Synthetic Aperture Radar). L'utilisation de séries multi-temporelles d'images radar permet d'améliorer significativement la cartographie des zones humides. **Marechal et al., 2012**, ont évalué des données multi-temporelles polarimétriques RADARSAT-2 afin d'identifier et de localiser la dynamique saisonnière des surfaces inondées des zones humides. Les résultats ont montré qu'il est possible de produire des cartes détaillées des surfaces en eau permettant de les délimiter et d'effectuer un suivi de la dynamique saisonnière des zones saturées en eau dans les zones humides. Ces produits fournissent des informations utiles pour identifier et délimiter les zones humides à des fins de conservation et de gestion de ces écosystèmes sur de vastes secteurs. Une des limites les plus fortes à l'utilisation des images radar est l'importance du « bruit » (chatoiement ou speckle) contenu dans les images, qui nécessite d'importants prétraitements par des opérateurs avertis. De plus, dans le cas de l'utilisation d'un seul capteur avec une seule polarisation, la présence de la végétation peut gêner, voire empêcher la mise en évidence de l'humidité des sols (**Gineste et al., 1998**).

TROUVER DE LA DONNÉE



Les mises à disposition gratuites des données Sentinel 1, contribuent à une utilisation plus intensive des données radar :

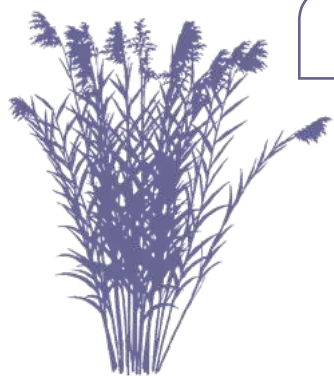
<https://scihub.copernicus.eu/dhus>.

TYPE DE CAPTEUR DE TÉLÉDÉTECTION

		Très grande résolution spatiale (ex. IKONOS, QuickBird, GeoEye, WorldView-2)	Moyenne à haute résolution spatiale / résolution temporelle (ex. Landsat, IRS, SPOT)	Résolution spatiale grossière et très grande résolution temporelle (ex. MODIS, AVHRR)	Hyperspectrale (ex. HyMap, CASI, Hyperion)	Balayage Laser (LiDAR)	Capteur micro-ondes actif (ex. SAR)
INDIVIDU	Présence	++	-	-	+	++	-
	Espèce	+	-	-	++	-	-
POPULATION	Espèce	++	+	-	++	-	-
	Phénologie	++	++	-	-/+	-	-/+
	Structure	+	+	-/+	+	++	+
COMMUNAUTÉ	État de conservation	+	++	+	-/+	-/+	-/+
	Structure	++	+	+	+	++	+
	Diversité (richesse)	++	+	-/+	++	-	-
	Fragmentation	++	++	+	+	+	+
PAYSAGE	Détection de changement	+	++	+	-/+	-/+	+
	Diversité (richesse)	+	++	++	-	-	-/+
	Détection de changement	-	++	++	-	-	++

Évaluation des capteurs vis-à-vis de leur pertinence à discriminer des paramètres associés aux niveaux d'organisations écologiques

APPLICATIONS AUX ZONES HUMIDES



Les zones humides sont parmi les milieux les plus productifs de la planète et abritent une importante diversité biologique.

Leur fonctionnement naturel, rythmé par des périodes de remontée des nappes d'eau, engendre la formation de sols particuliers. Une végétation et une faune spécifiques leur sont associées. Ces milieux procurent de nombreux « services écosystémiques » : épuration des eaux en transit, maîtrise des crues, recharge des nappes souterraines ou encore atténuation des effets des changements climatiques.

Pourtant, d'après l'enquête nationale à dire d'experts* pilotée par le ministère en charge de l'écologie en 2011, qui a porté sur l'évolution de 152 sites de métropole et d'outre-mer entre 2000 et 2010, si la situation des sites s'est améliorée pour 14 %

d'entre eux, elle s'est dégradée dans 53 % des cas. Il est donc indispensable de poursuivre les actions de préservation en cours et urgent de mettre des outils puissants et innovants au service des zones humides.

Les nouvelles technologies sont une véritable opportunité pour collecter des données plus complètes sur ces milieux et doivent permettre d'affiner les actions et plans de gestion pour maintenir voire améliorer leur état de conservation. Cependant, les zones humides ne demeurent pas moins des milieux particulièrement difficiles à télédécrire et à caractériser (humidité fluctuante dans le temps, zones humides très hétérogènes d'une région à l'autre, signature spectrale de certains types de zones humides complexes...).

**Résultats de l'enquête nationale à dire d'experts sur les zones humides - État en 2010 et évolution entre 2000 et 2010, CGDD/SOeS, 2011. Publiés dans Etudes & documents n°70 octobre 2012.*

CarHAB : un programme où les zones humides sont traitées spécifiquement

Pascal LORY, Conseiller auprès du DGALN, Claire DE KERMADEC, Cheffe de projet DGALN/DEB/ET/ET1 & Joanie CATRIN, Chargée de mission DGALN/DEB/EARM3

Le programme de cartographie des habitats (CarHAB), lancé par le ministère en charge de l'écologie en 2011, avait pour but de rapprocher les données satellitaires de données acquises sur le terrain, et de caractériser et localiser finement les habitats naturels sur le territoire (échelle 1:25 000^e). CarHAB2 a été mis en place en 2018 et la méthodologie, en cours d'élaboration mais allégée de tout travail de terrain, sera testée en 2019. La question des zones humides est traitée spécifiquement au sein de ce programme et fera l'objet de premières expérimentations sur le PNR Scarpe Escaut début 2019.

La méthode consiste à repérer les zones où la végétation et les caractéristiques physiques (humidité, topographie, etc.) sont *a priori* révélatrices de zones humides. Dans un second temps, en fonction de la physionomie des végétations qu'elle recouvre, la zone est finement redécoupée par l'utilisation de données satellitaires permettant ainsi de détecter différents types d'habitats au sein d'une zone humide.

En fonction des résultats des expérimentations, le programme sera déployé sur la France entière à partir de 2020 pour une mise à disposition des données à partir de 2022.



Le Plan d'applications satellitaires (PAS) 2018 - 2022 des ministères de la Transition écologique et solidaire, et de la Cohésion des territoires, est paru le 22 août 2018.

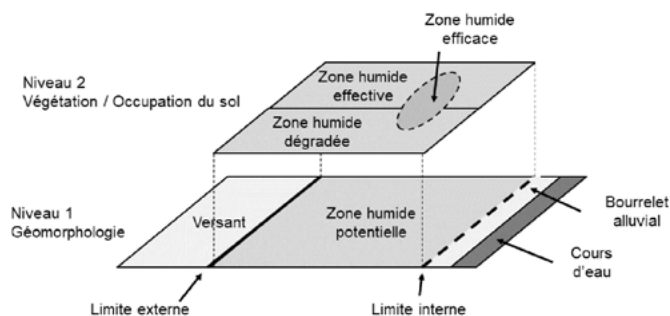
<http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/plan-d-applications-satellites-2018-a3624.html>

Il a pour finalité d'améliorer la réalisation des missions des deux ministères par le recours justifié à des applications satellitaires. Il réunit 20 actions métier sur les différents domaines de compétence des ministères et 17 actions transversales pour aider les services dans le développement de leurs applications. Parmi les actions sélectionnées figure une « identification, caractérisation et suivi des milieux humides » (page 63 du PAS).

Suivi à long terme et à échelle fine des pertes de zones humides par l'utilisation de données LiDAR et de photographies aériennes historiques : l'exemple de la basse vallée du Couesnon

Sébastien RAPINEL, Bernard CLEMENT, Simon DUFOUR et Laurence HUBERT-MOY, Université de Rennes

L'objectif de cette étude était de cartographier et suivre la régression de zones humides à une échelle fine en utilisant (1) des données LiDAR et des photographies aériennes historiques et (2) une typologie fonctionnelle qui distingue les zones humides potentielles, efficaces, efficaces et dégradées. Les zones humides potentielles correspondent à l'emprise maximale de ces milieux, observée sur les photographies aériennes les plus anciennes. Les zones humides effectives sont celles correspondant aux critères définis par la Loi sur l'eau de 1992 (loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau). Les zones humides efficaces sont définies au sein des zones humides potentielles et effectives comme des zones efficaces vis-à-vis d'une fonction donnée (dénitrification, biodiversité, etc.). Les zones humides dégradées sont des zones humides originellement effectives mais qui ont perdu ce caractère suite à des aménagements anthropiques (drains, remblais, etc.) ou climatiques.

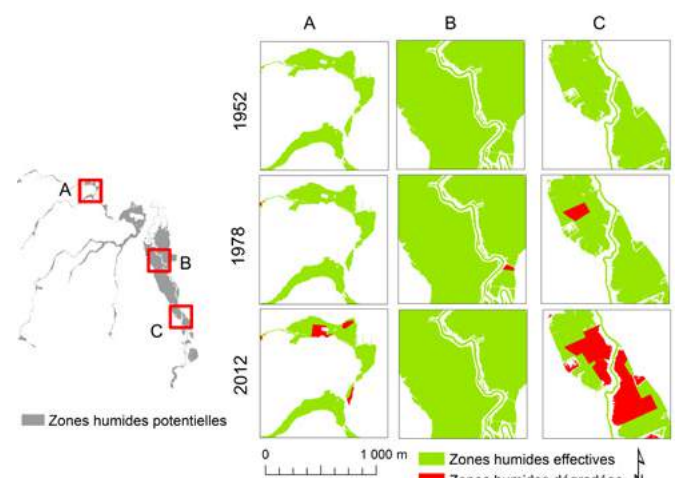


Délimitation théorique des zones humides selon la typologie fonctionnelle distinguant les zones humides potentielles, effectives, efficaces, dégradées (Adaptée de Mérot *et al.*, 2006)

L'étude a porté sur les zones humides de fond de vallée du Couesnon (Ille-et-Vilaine / Manche) labellisée « Zone Atelier » par le CNRS. Les limites des zones humides potentielles ont été extraites à partir des données micro-topographiques LiDAR, normalisées par rapport à l'altitude du réseau hydrographique. Ensuite, les zones humides effectives et dégradées ont été discriminées à l'aide de photographies aériennes historiques acquises en 1952, 1978 et 2012. Puis, une analyse de correspondance multiple a été appliquée pour caractériser différents types de perte de zones humides selon l'occupation du sol, la période, la superficie et le contexte géomorphologique.

Pour la première fois, les limites externes et internes des zones humides ont pu être automatiquement identifiées à l'échelle du 1:5 000^e (précision > 88 %). Les cartes évaluent par ailleurs à 14 % la superficie des zones humides effectives disparues (ou dégradées)

depuis les années 1950. En outre, les résultats révèlent deux sources de dégradation des zones humides : 1- les remblais de voies de communication dans les petites vallées qui ont été effectués dans les années 1950 ; 2- les cultures céréalières mises en place depuis les années 1980.



Cartes des zones humides effectives et dégradées sur la basse vallée du Couesnon en 1952, 1978 et 2012

La contribution à la gestion des zones humides

Les gestionnaires et les scientifiques inventorient et surveillent régulièrement les zones humides patrimoniales, mais les petites zones humides dites « ordinaires » sont rarement prises en considération. L'approche proposée permet d'obtenir une carte détaillée des limites externes et internes de toutes les zones humides, ainsi qu'une carte des zones humides ayant disparu depuis 70 ans environ. Ces résultats soulignent que les zones humides de la basse vallée du Couesnon ont régressé, essentiellement sur des terrains privés, même lorsque ceux-ci sont inclus dans les aires de sites Natura 2000 ou RAMSAR « Baie du Mont-Saint-Michel ». Les sites sur lesquels les zones humides effectives ont disparu doivent être considérés comme des sites de négociation sur lesquels des actions de restauration peuvent être menées afin d'améliorer la qualité de la ressource en eau et la biodiversité.

Cet article est une version vulgarisée de la publication scientifique suivante :

Rapinel, S., Clément, B., Dufour, S., & Hubert-Moy, L. (2018). *Fine-Scale Monitoring of Long-term Wetland Loss Using LiDAR Data and Historical Aerial Photographs: the Example of the Couesnon Floodplain, France*. *Wetlands*, 38(3), 423-435.

POUR ALLER PLUS LOIN

Découvrez aussi l'article sur la « Cartographie par télédétection des associations végétales au sein des prairies du marais poitevin » - Rapinel S. *et al.*, 2018 (sous presse). <https://doi.org/10.1111/avsc.12396>

APPLICATIONS AUX ZONES HUMIDES

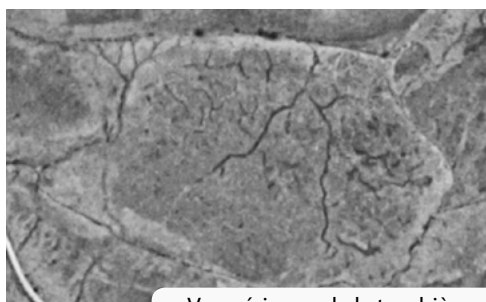
Le LiDAR pour mieux comprendre le fonctionnement et l'historique de la tourbière de Crespy-Greloux

Vincent LEGÉ, Conservatoire d'espaces naturels d'Auvergne



Vue générale de la tourbière - © CEN 2015

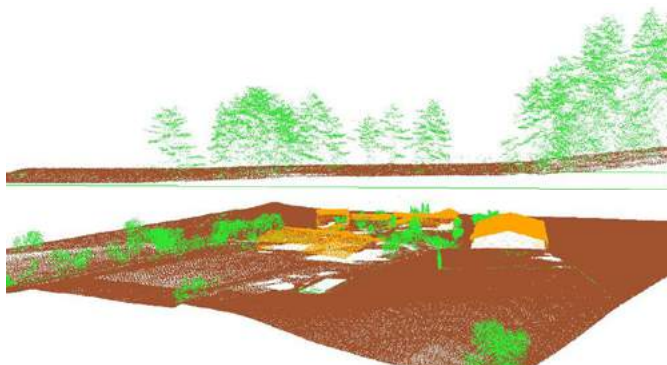
En 2015, le Conservatoire d'espaces naturels (CEN) Auvergne a commandé à Pierre Goubet, écologue, une étude sur le diagnostic fonctionnel de la tourbière de Crespy-Greloux (Bagnols – 63), propriété du CEN Auvergne. Il a soulevé dans cette étude quelques questions notamment sur la partie Nord du site, en mettant en évidence : « *de probables processus périglaciaires de polygonisation de la tourbe, proches de ceux rapportés par les spécialistes de l'Arctique canadien. La réalisation d'un transect dans une fosse pédologique n'a ni confirmé, ni infirmé l'hypothèse d'un héritage périglaciaire à Crespy-Greloux* ».



Vue aérienne de la tourbière en 1963 - © IGN

Suite à cette étude, il a été fait le choix d'acquérir des données LiDAR sur la tourbière. Pour un gestionnaire, l'intérêt d'avoir un jeu de données Lidar est de chercher à avoir une vision altimétrique du sol, de la végétation ou du bâti indépendamment. Cependant, l'analyse et l'interprétation de données LiDAR peut être très technique et s'avérer particulièrement chronophage. Le CEN Auvergne a donc choisi de ne pas approfondir le traitement des données et de travailler avec les outils libres à sa disposition :

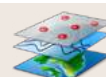
- le module **LAStools** pour visualiser et travailler les données ;
- le plugin **Qgis2threejs de QGIS** permettant la visualisation 3D en html.



Exemple de nuage de points bruts, classifiés en sol, végétation, bâti (vue LAStools)

Avec ces outils, le CEN Auvergne a pu interpréter les images et confirmer la présence de sols de type « polygonaux » d'origine périglaciaire. Ces outils ont aussi fourni des documents de communication pour les partenaires, afin d'illustrer la topographie du site ou de sensibiliser sur le recalibrage du ruisseau.

TROUVER DE LA DONNÉE



L'accès aux données LiDAR est encore limité, principalement en raison des coûts élevés. L'une des pistes pour un accès à des tarifs abordables est la participation à des programmes de mutualisation. En Auvergne-Rhône-Alpes, le CRAIG (Centre Régional Auvergne-Rhône-Alpes de l'Information Géographique) a coordonné des campagnes d'acquisition ces dernières années.

Le levé LiDAR proposé est de haute précision : une densité finale moyenne de 11 pts/m², un recouvrement entre les axes de vol de 30 %, une précision planimétrique de 20 cm et altimétrique de 10 cm.

Cette première utilisation du LiDAR a permis au CEN Auvergne de mieux cibler ses besoins sur ce type de données :

- elles sont difficiles à utiliser sans hypothèse de base : il est indispensable d'associer un spécialiste (géomorphologie, géologie, botanique, etc...) au géomaticien afin de pouvoir analyser les images et adapter le traitement des données ;
- elles sont volumineuses, surtout sur de grands secteurs : il faut être capable de stocker l'information (taille des serveurs) et de disposer d'ordinateurs capables de réaliser des calculs sur de gros lots de données ;
- un travail de nettoyage des données et de vérification de la précision doit être prévu sur une commande et peut être chronophage. Le CEN Auvergne a eu la chance de travailler avec le CRAIG qui a réalisé ce travail.

Le LiDAR est un outil utile pour mieux comprendre le fonctionnement ou l'historique de certains sites. Il apporte une nouvelle vision du terrain et les applications sont multiples pour appuyer les connaissances de nos spécialistes en hydrologie, géologie, archéologie, botanique, etc. Le recours à ces données ne peut cependant être systématique : le coût environnemental du vol d'un avion et le stockage des données doivent être pris en compte. Parfois la précision d'un MNT régional peut être suffisante à la réalisation de vues tridimensionnelles, dans un objectif de sensibilisation.

LE SAVIEZ-VOUS ?



Prochainement vous pourrez retrouver certains des articles du cahier technique sous forme de fiches « Retours d'expériences » sur le site du Centre de Ressources Loire nature :

<http://centrederesources-loirenature.com/>



La technologie LiDAR au service de l'étude des mares de la réserve naturelle du Pinail

Yann SELLIER, association Gestion de la Réserve du Pinail (GEREPI)

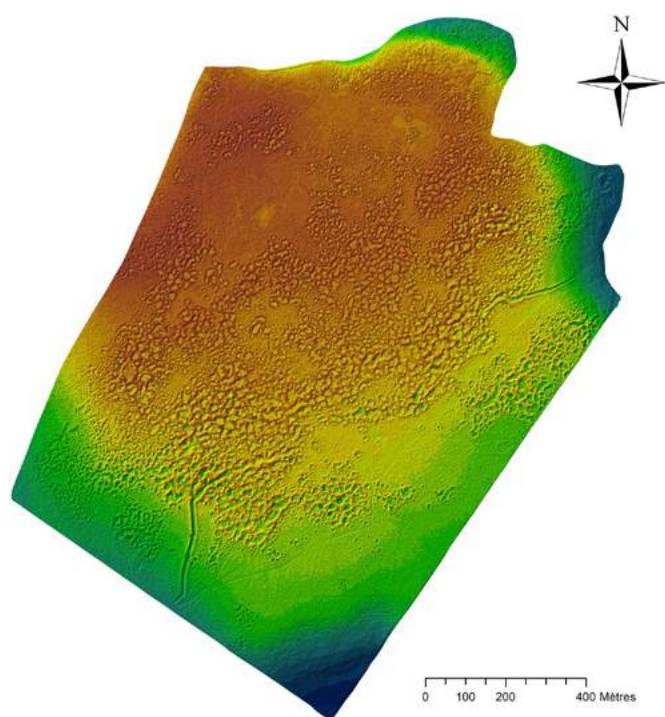
Le Pinail (86) est un terrain accidenté avec la particularité d'être criblé de milliers de mares : plus de 6 000, sur les 142 ha de la Réserve. L'acquisition de données LiDAR a été faite pour appréhender le micro relief du site et plus particulièrement alimenter la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes.

Cette méthode a permis de relever 25 pts/m² lors d'un survol en avion en novembre 2017 (45 mn à 350 m d'altitude). Avec une résolution de 5 cm, ces mesures ont conduit à définir la hauteur de végétation et du sol y compris sous l'eau (bathymétrie) jusqu'à 3 m (profondeur maximale des mares sur la Réserve). En complément, les retours d'ondes complètes ont été mesurés (signature spectrale) afin de caractériser les colonnes d'eau.

La modélisation 3D de la Réserve (MNT et MNS) obtenue est en cours d'exploitation. Ce travail d'analyse nécessite une formation complémentaire afin de répondre aux multiples utilisations permises par cette technologie :

- étude de la géomorphologie du site, des mares et tourbières : carte du réseau hydrographique, volume d'eau stocké dans les mares, interaction avec la répartition des habitats, traces d'activités humaines anciennes liées à l'exploitation de la pierre meulière ;
- modélisation hydraulique : connectivité de surface des mares en lien avec la conservation de l'Écrevisse à pieds blancs, (*Austropotamobius pallipes*), ou la lutte contre la Perche soleil, (*Lepomis gibbosus*), délimitation des micro-bassins versants en lien avec la conservation des tourbières, schématisation des écoulements d'eau ;
- typologie des mares et, à terme, de leur état de conservation : mise en relation entre la signature spectrale et les composantes biotiques et abiotiques dans le cadre de l'observatoire eau-biodiversité-climat de la Réserve ;
- analyse de l'impact des modes de gestion : structure de végétation, biomasse gérée.

La prestation confiée à Geofit expert a compris : l'acquisition, la classification des points (végétaux, sol, eau, etc...), la production du MNT et du MNS, retours d'ondes complètes pour un montant de 12 060 €. Les travaux ont été financés par l'État (DREAL) et l'agence de l'eau Loire-Bretagne.



Altitude		
137,549 - 138,93	134,816 - 135,374	128,686 - 129,933
137,063 - 137,549	134,249 - 134,816	127,211 - 128,686
136,68 - 137,063	133,622 - 134,249	125,188 - 127,211
136,301 - 136,68	132,918 - 133,622	122,483 - 125,188
135,871 - 136,301	132,159 - 132,918	117,912 - 122,483
135,374 - 135,871	131,154 - 132,159	111,597 - 117,912
	129,933 - 131,154	104,93 - 111,597

Modèle numérique de terrain de la RNN du Pinail et bande des Quatre Vents - © GEREPI



Photo aérienne de la Réserve Naturelle Nationale du Pinail - © Jean-Guy Couteau

APPLICATIONS AUX COURS D'EAU



Les cours d'eau sont des milieux naturels évolutifs au fonctionnement complexe. Sans présence d'obstacle à leur continuité écologique, ils assurent la libre circulation des espèces aquatiques et des sédiments de l'amont vers l'aval ainsi que le drainage naturel des terres.

Le cours d'eau se transforme et se déplace sous l'influence de divers phénomènes tels que l'érosion, le dépôt des matériaux et le transport d'alluvions. L'érosion des berges est un phénomène naturel lié à la dynamique du cours d'eau et nécessaire à son bon fonctionnement. Non contraints dans leurs mouvements, les cours d'eau façonnent des habitats naturels pouvant constituer de véritables réservoirs de biodiversité.

Les aménagements réalisés au cours du temps pour faciliter les activités humaines (navigation, production d'énergie, extraction de matériaux, drainage, etc...) perturbent les processus en œuvre dans les milieux aquatiques et dégradent leur qualité.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement des cours d'eau et les habitats qui leur sont directement associés, observer leur évolution ou encore analyser les impacts d'une restauration, des suivis et caractérisations sont réalisés. Ces études peuvent s'appuyer sur les nouvelles technologies, développées en grande partie grâce à la télédétection sous diverses formes. À travers plusieurs exemples, différentes méthodes pouvant contribuer à la compréhension de ces milieux sont abordées dans cette partie.

Utilisation de la télédétection pour le suivi des herbiers aquatiques

Annabelle TOLLIE, Électricité de France

Pour mieux évaluer la dynamique des herbiers aquatiques présents dans les cours d'eau français, plusieurs volets de connaissance sont approfondis : étude des zones de prolifération et des processus de développement, évaluation des surfaces de recouvrement et de la biomasse, analyse de l'évolution spatio-temporelle.

Pour répondre à ces enjeux, la télédétection a l'avantage de fournir des informations à des fréquences rapprochées, sur des périmètres importants, parfois difficiles d'accès.



Renoncules aquatiques sur la Creuse à Ciron (36)
© Daniel Jolivet cc-by-2.0.

Plusieurs vecteurs de télédétection embarquée ont été testés :

- satellite : l'acquisition d'images satellite rapprochées dans le temps a permis de délimiter les herbiers et d'observer leur évolution sur plusieurs semaines, notamment sous l'influence de l'hydrologie ;
- avion : couplées à des campagnes *in situ* (pesées et surfaces de recouvrement des macrophytes), les photographies aériennes ont permis d'extrapoler, par espèce, les biomasses à l'échelle stationnelle à l'ensemble du secteur photographié ;
- drone : les acquisitions d'images réalisées après une modification significative de l'hydrologie par drone ont permis de cibler la surveillance sur des secteurs où la composition des herbiers aurait pu être modifiée.

Conclusion comparative

	Satellite	Avion	Drone
Périmètre	Plusieurs centaines de km ²	Quelques dizaines de km ²	Quelques km ²
Résolution temporelle	Quelques jours en couplant les satellites	Ponctuel sur demande	Ponctuel sur demande
Bandes spectrales	Multispectrale THR	RVB-PIR	RVB-PIR
Résolution spatiale	Environ 50 cm (dépend du satellite utilisé)	Max 10 cm	Environ 5 cm
Résultats obtenus	<ul style="list-style-type: none"> • Localisation • Présence/absence 	<ul style="list-style-type: none"> • Localisation • Présence/absence • Détermination des espèces 	<ul style="list-style-type: none"> • Localisation • Présence/absence • Détermination des espèces
Limites	<ul style="list-style-type: none"> • Ombres portées / reflets • Couvert nuageux • Hydrologie/ turbidité • Disponibilité du satellite 	<ul style="list-style-type: none"> • Ombres portées / reflets • Hydrologie/ turbidité • Autorisations préalables 	<ul style="list-style-type: none"> • Ombres portées / reflets • Hydrologie/ turbidité • Autorisations préalables

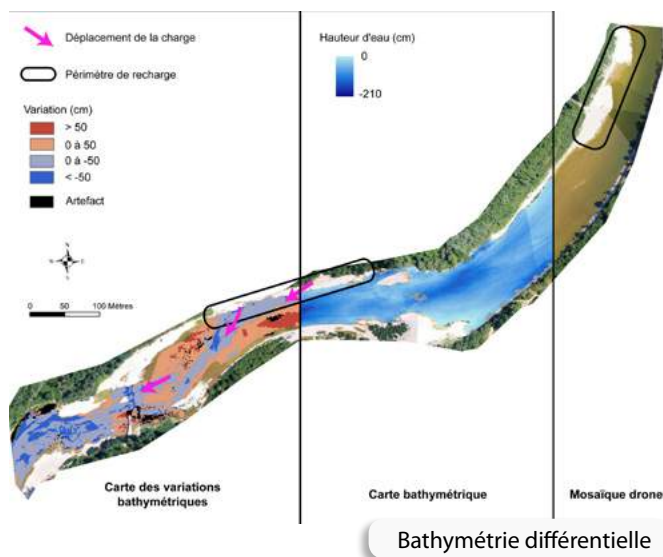
Ces 3 méthodes d'acquisition sont complémentaires et peuvent ainsi être couplées en fonction des besoins. Dans tous les cas, les relevés de terrain restent indispensables. Ils permettent l'identification des espèces, l'évaluation de la biomasse et la détection des herbiers immergés que la photo-interprétation ne permet pas d'identifier.

Caractérisation des méso-habitats fluviaux et technologie drone : domaines de recherche et d'application

Jérôme LEJOT, Vincent WAWRZYNIAK et Hervé PIEGAY, Université de Lyon

L'étude des méso-habitats fluviaux participe à l'évaluation de l'état de santé des cours d'eau et de leurs annexes fluviales. Depuis 2004, de multiples plateformes ultra-légères aéroportées de la famille des drones sont utilisées par l'UMR 5600 EVS CNRS pour étudier l'évolution de ces milieux. Le développement de nouveaux capteurs légers (dans le domaine du visible, de la thermie ou bien de l'hyperspectral) offre désormais de nouveaux champs d'application.

Restitution bathymétrique

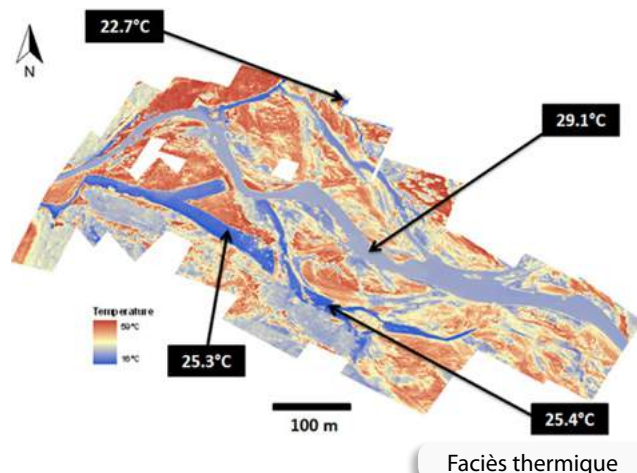


La caractérisation de la topographie des lits mouillés (chenaux actifs, annexes fluviales) par imagerie offre la possibilité de quantifier les variations topographiques des chenaux : évolution de la charge de fond (spatiale et temporelle), sédimentation des bras morts (vitesse de comblement) et prédiction des durées de vie des restaurations.

À partir d'images à très haute résolution (du domaine du visible ou de l'hyperspectral) couplées à un échantillon de mesures bathymétriques *in situ*, il est possible d'établir une bathymétrie continue du chenal survolé. À partir de modèles statistiques basés sur le couplage radiométrie / hauteur d'eau *in situ*, des modèles numériques bathymétriques sont produits avec des précisions centimétriques/décimétriques. La réalisation de plusieurs survols permet d'établir des bathymétries différentielles et de produire des modèles prédictifs de l'évolution des chenaux.

Restitution des habitats thermiques

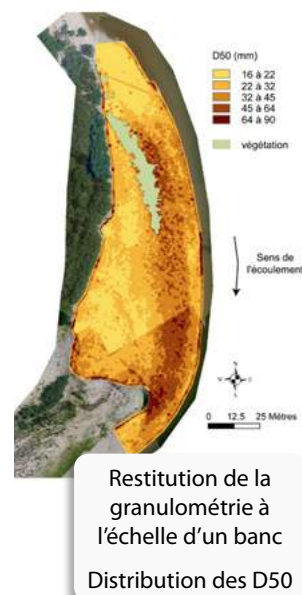
La caractérisation de la thermie des lits mouillés par imagerie permet d'identifier la répartition spatiale et temporelle des faciès thermiques en lien avec la morphologie des cours d'eau et leurs habitats piscicoles. À partir de modèles statistiques basés sur le couplage radiométrique / température *in situ*, il est possible de produire une carte des températures de surface en tout point des chenaux. Les résultats obtenus ont démontré l'impact des styles fluviaux (en tresse, à méandres) sur l'hétérogénéité des températures, l'impact des contributions latérales (arrivées phréatiques et hyporhéiques, résurgences), d'appréhender les variabilités des températures intra-journalières et de définir les types de refuges thermiques dans les rivières à méandres (bras morts et chenaux actifs).



Restitution granulométrique et suivi sédimentaire

La caractérisation des faciès granulométriques par imagerie participe à analyser le bon état de fonctionnement d'un cours d'eau et de ses habitats (piscicoles) à travers l'identification de la taille des galets et leur distribution à l'échelle des tronçons. Là encore, le couplage de mesures *in situ* (échantillonnage granulométrique) et des valeurs radiométriques des images permet d'alimenter des modèles statistiques d'auto-corrélation spatiale. Des cartes représentant des patrons granulométriques peuvent ainsi être créées.

En complément, le suivi des galets par technologie RFID actif permet dorénavant d'embarquer des antennes sur des drones afin de détecter le déplacement des particules et d'analyser leur trajectoire et leur distance de transport. Les premiers résultats obtenus sont prometteurs.



Caractérisation de la végétation

La caractérisation de la végétation alluviale, riparienne et invasive par imagerie Très Haute Résolution offre la possibilité d'identifier les espèces, de comprendre les logiques de colonisation des invasives et d'analyser les dynamiques de recolonisation alluviale après restauration. Par des procédés de classification automatique ou semi-automatique, il est possible d'élaborer des cartographies de taux de colonisation de végétation terrestre aussi bien qu'aquatique.

Conclusion

Les résultats issus des différents « modèles-images » développés ont démontré l'intérêt des techniques mises en œuvre. En revanche, ces méthodes ne sont pas toujours généralisables à l'ensemble des cours d'eau. Elles dépendent donc des faciès à caractériser (végétation, granulométrie, topographie, thermie de l'eau etc.) et des échelles à couvrir.

Spatialisation d'indicateurs de l'état des ripisylves à l'aide de données LiDAR

Marianne LASLIER, Laurence HUBERT-MOY et Simon DUFOUR
Université de Rennes

Contexte

Les ripisylves fournissent de nombreux services écosystémiques, comme la stabilisation des berges ou la régulation des crues. Cependant, les zones ripariennes font partie des territoires les plus menacés par l'activité anthropique. À ce jour, 90% des zones ripariennes sont considérées comme dégradées en Europe (EEA 2016). Il est donc important de produire des indicateurs permettant de suivre l'état de dégradation de ces zones, et des services qu'elles produisent. La télédétection, et tout particulièrement les données LiDAR, sont des outils prometteurs pour produire ces indicateurs.

Objectifs

Cette étude vise à montrer le potentiel des données LiDAR à haute densité pour cartographier des indicateurs de l'état des ripisylves, comme la densité de strate herbacée (<1 m) et de strate arbustive (1 à 3 m), la composition spécifique ou encore la biomasse au-dessus du cours d'eau.

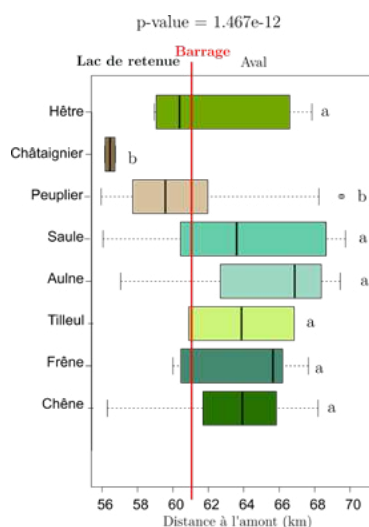
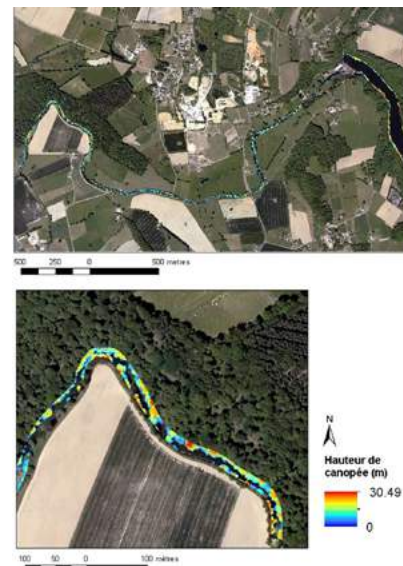
Site d'étude et données

L'étude a été réalisée le long de la Sélune, un fleuve côtier se jetant dans la baie du Mont Saint-Michel. Ce fleuve est actuellement entravé par deux barrages, la Roche-qui-Bois et Vezins, de respectivement 16 et 32m de haut, qui doivent être arasés d'ici 2021. Deux vols LiDAR TITAN (OPTECH) à haute densité (> 20 pts/m²) ont été acquis en juin 2015 et en janvier 2017 dans la retenue et à l'aval des deux barrages. L'altitude de vol était de 350 m. En parallèle de ces vols, une série de relevés de terrain a été réalisée sur la ripisylve bordant la Sélune (11 sites ont été inventoriés, pour au total 170 arbres). Pour chaque arbre inventorié, la position géographique, l'essence, les densités de strates arbustive et herbacée (estimation visuelle sous l'arbre), le nombre de tiges et le statut de l'arbre dans la canopée (dominé, co-dominant, dominant) ont été répertoriés.

Méthodologie et résultats

Dans un premier temps, le croisement d'un modèle numérique de canopée (correspondant à un MNH des arbres dans ce cas) avec les surfaces de cours d'eau de la BD TOPO de l'IGN a permis d'identifier la surface et la biomasse de végétation arborée recouvrant le chenal de la Sélune. Dans un second temps, des modèles de classifications supervisées du type Random Forest, appliquées sur les nuages de points LiDAR normalisés), ont permis de cartographier la composition spécifique des peuplements ripariens ainsi que les densités de strates herbacées et arbustives, avec des précisions globales allant jusqu'à 0,8, signifiant que 80 % des échantillons de validations ont bien été prédits par le modèle. L'analyse

longitudinale de ces indicateurs a permis de mettre en évidence une différence de composition spécifique et le degré d'ombrage entre les parties amont et aval des barrages de la Roche-qui-Bois et Vezins, pouvant servir d'état initial avant arasement de ces barrages.

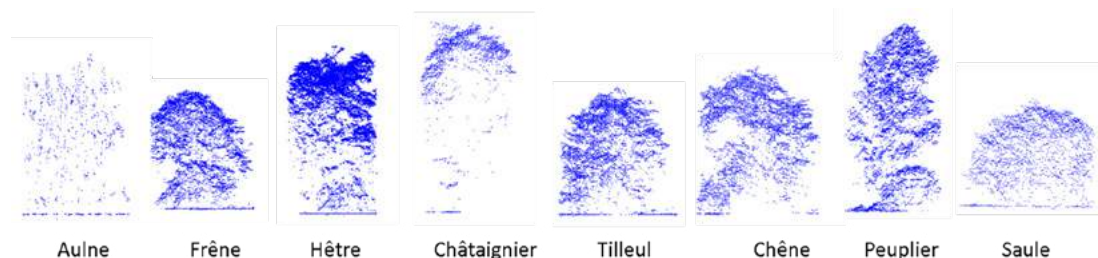


Hauteur de canopée (m) au-dessus du fleuve Sélune.

Variation longitudinale de la composition spécifique des boisements ripariens le long de la Sélune, à l'amont et à l'aval des barrages de la Roche-qui-bois et Vezins.

Conclusions et perspectives

Les résultats obtenus ont permis de démontrer l'intérêt de l'utilisation de données LiDAR pour la cartographie d'indicateurs de l'état des ripisylves. D'un point de vue opérationnel, les résultats montrent qu'un simple modèle de canopée peut suffire pour estimer le degré d'ombrage sur un cours d'eau. En revanche, des méthodes plus poussées de classification et de traitement de nuages de points 3D sont encore aujourd'hui nécessaires pour cartographier des indicateurs tels que la composition spécifique.



Exemple de nuages de points LiDAR pour les différentes espèces présentes le long de la Sélune.

Le LiDAR, une opportunité pour mieux appréhender les formes fluviales et leurs végétations, dans le cadre d'actions de surveillance et de suivis scientifiques

Benoît FRITSCH, Conservatoire d'espaces naturels de Bourgogne, Réserve Naturelle Nationale du Val de Loire

Les diverses formes issues des dépôts d'alluvions et érosions successifs constituent une expression de la dynamique fluviale qui s'illustre de manière spatiale et temporelle. Elles forment une archive à ciel ouvert du passé récent de la Loire. Le promeneur aux abords de la Loire pourra être surpris du micro-relief parfois très marqué qu'il rencontrera. Ces formes hydrogéomorphologiques entretiennent un lien étroit avec la végétation alluviale et conditionnent à la fois son apparition et son vieillissement. Des forêts alluviales, composées de peupleraies noires, saulaies blanches et chênaies-frênaies ormaies peuvent s'y développer.

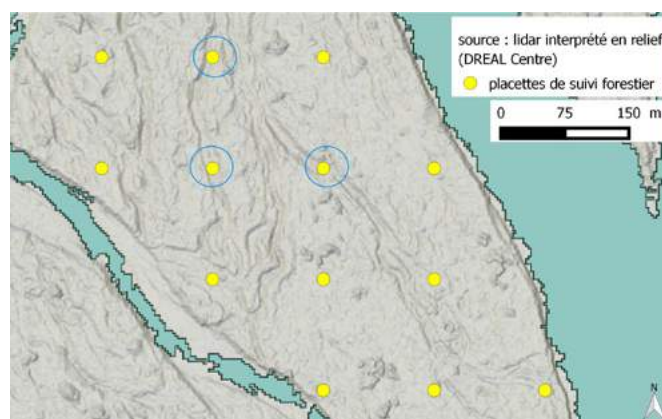
Une fois la végétation installée, il est difficile de lire sur orthophotographie aérienne classique la nature de ces forêts ainsi que l'ancienneté de ces îles. Le relief devient alors une ressource intéressante d'informations, par le biais de l'imagerie LiDAR. Les informations sur les paléochenaux (anciens chenaux fixés au cœur des îles) sont cependant peu précises et se basent sur la couleur de la canopée pour renseigner sur la présence d'arbres à bois tendre (Erables *negundo* ou Saules blancs) installés dans les talwegs.

Le LiDAR et son interprétation en ombre ou en relief donnent une image très fine du micro-relief. Les paléochenaux apparaissent clairement et permettent de découper spatialement une grande île boisée en deux ou trois sous-ensembles que l'on imagine être apparus séparément et s'être rattachés progressivement. Le LiDAR permet de voir à travers la canopée, de manière géoréférencée et de superposer l'image avec une orthophotographie ou une cartographie de végétation.

D'un point de vue opérationnel, cette approche doit permettre de mieux orienter les suivis scientifiques et de mieux cibler un échantillonnage, dans le cadre par exemple d'un protocole de suivi axé sur les forêts à bois tendre. À l'aide d'une interprétation du LiDAR, la transition forêt bois tendre / bois dur pourrait être délimitée plus facilement et justement. Ainsi, un transect de suivi qui doit aller uniquement de la grève sableuse à la saulaie-peupleraie (forêt à bois tendre) pourra être plus facilement positionnée en évitant les secteurs de forêt à bois dur.

Le LiDAR peut aussi servir à mieux stratifier un échantillonnage dans le cadre d'un protocole de suivi ciblé uniquement sur les forêts alluviales de bois dur, en écartant le bois tendre. Il faut pour cela bien délimiter l'univers d'échantillonnage, à l'aide d'une cartographie de végétation fiable, récente et fine. Le LiDAR peut aider à améliorer le travail : lors de l'échantillonnage sous SIG, il est quasi-évident qu'une placette qui tombe au milieu ou sur le flanc d'un talweg d'un paléochenal se trouvera

dans un faciès à bois tendre, et pourra être supprimée ou déplacée sur une partie plus haute. Ceci permet d'optimiser l'échantillonnage et donc d'améliorer la représentativité du boisement ciblé, et au final d'abaisser le coefficient de variation des données.



Placettes de suivi forestier en flanc de talweg de paléochenal (entourées de bleu)

Le LiDAR est une ressource qui offre l'opportunité de mieux appréhender les formes fluviales et leurs végétations, dans le cadre d'actions de surveillance et de suivis scientifiques. Les données LiDAR utilisées ici sont issues du SIEL (Système d'information sur l'évolution du Lit de la Loire et de ses affluents).



Ancien chenal de la Loire au cœur d'une île boisée, qui crée sur ces marges un corridor de bois tendre au milieu d'une forêt de bois dur - © Benoît Fritsch, CEN Bourgogne

Le SIEL : des données mobilisables pour les gestionnaires d'espaces naturels

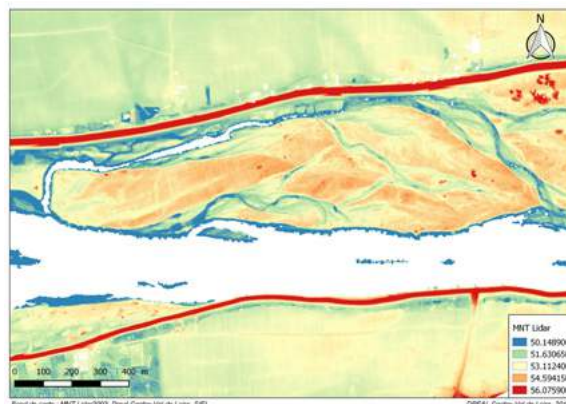
Antoine DIONIS DU SÉJOUR, DREAL Centre-Val de Loire

Mis en place en 1995 dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature, le SIEL (Système d'information sur l'évolution du Lit de la Loire et de ses affluents) est administré par la DREAL Centre-Val de Loire. Il a pour but d'acquérir, de bancariser et de diffuser, en téléchargement libre, des données sur la Loire et ses affluents, pour :

- partager la connaissance entre gestionnaires, chercheurs, partenaires, riverains, etc. ;
- suivre, à long terme, l'évolution du lit de la Loire et de ses affluents (végétation et morphologie) ;
- aider à la gestion des cours d'eau suivis pour réduire le risque inondations en tenant compte des enjeux écologiques et paysagers des milieux ligériens ;
- contribuer à l'évaluation des politiques mises en œuvre.

De plus, certaines données sont acquises ponctuellement ou simplement diffusées dans le cadre du SIEL. C'est le cas pour les campagnes de bathymétrie ou pour les levés de LiDAR aéroporté de la zone inondable, permettant de bénéficier de la topographie fine des vals (MNT). D'autres données (mesures de lignes d'eau et photos aériennes) le sont de manière régulière et constituent les deux piliers du SIEL.

La mesure de ligne d'eau, à un débit fixé, permet de suivre l'enfoncement du lit du cours d'eau, une des problématiques à l'origine du Plan Loire.



Identification, à l'aide du MNT, de chenaux d'écoulements préférentiels pour la restauration de frayères ou de chenaux de crues

Les orthophotographies sont ensuite valorisées sous forme de cartographies de végétation et de morphologie produites par photo-interprétation et reconnaissance de terrain à l'aide de typologies dédiées. Ces cartes permettent des analyses à large échelle (suivi des peuplements d'espèces exotiques envahissantes sur la Loire par exemple) ou plus localisées (suivi de l'érosion par exemple).

Aujourd'hui, le SIEL diffuse des données sur la Loire, l'Allier, le Cher, la Vienne et la Creuse, pouvant aussi bénéficier aux gestionnaires d'espaces naturels de ces différents cours d'eau.

Plus d'informations : <http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/systeme-d-information-des-evolutions-du-lit-de-la-r104.html>

Évaluation des zones envahies par la Jussie dans les marais de Grand-Lieu

Youenn PIERRE, Syndicat du Bassin Versant de Grand-Lieu (SBVGL)

Depuis 2013, la Jussie (*Ludwigia sp.*) colonise les prairies humides du marais de Grand-Lieu (44) sous une forme « terrestre ». Pour mettre en place une stratégie d'action partagée, une cartographie a été réalisée sur base d'un survol réalisé à 80 m par Technidrone en 2016.

Le drone utilisé a été équipé de deux capteurs :

- un capteur RGB permettant l'acquisition d'images dans le domaine du visible (résolution à une hauteur de vol de 100 m : 35 cm/px) ;
- un second capteur multiSPEC (résolution à une hauteur de vol de 100m : 10 cm/px) permettant la captation d'images dans le domaine proche infrarouge.

La zone de survol se situait dans un espace aérien de classe D (contrôlé par la DGAC). Un protocole d'accord auprès du Service de la Navigation Aérienne de Nantes a été établi avant la réalisation de l'opération.

Cette campagne par drone sur 2 jours a permis de produire une orthophotographie (<5 cm par pixel) et une couche vectorisée de présence de la Jussie pour un coût total de 7 788 € TTC financés par l'agence de l'eau Loire-Bretagne et la Région des Pays de la Loire. La vectorisation des zones envahies a été faite à l'aide d'un logiciel de traitement d'image au moyen d'une classification supervisée dirigée, en deux étapes : un apprentissage pour créer

la classe de signature spectrale « Jussie » ; puis une classification, réalisée automatiquement sur l'ensemble de l'image d'après ces données. Un contrôle manuel a ensuite été opéré pour affiner le travail du logiciel et repérer des zones d'envahissement dispersées mais proches du front de colonisation qui n'étaient pas reconnues comme telles.

Cette technique a cependant révélé des limites : la capacité de reconnaissance reste partielle, la signature spectrale de la Jussie n'étant pas nettement différente des autres végétaux.



Extrait de l'orthophotographie produite et couche vectorisée de présence de la Jussie - © SBVGL

Expérimentations de l'usage des drones dans le suivi de l'avifaune et la gestion d'un espace naturel protégé

Julien VÈQUE, Réserve Naturelle Nationale de Chérine

La Réserve Naturelle Nationale (RNN) de Chérine couvre 370 ha, principalement de zones d'étangs au sein du PNR de la Brenne. Lors de la rédaction du décret de classement de la RNN de Chérine, un article spécifique a interdit le survol de la réserve à une hauteur inférieure à 300 m au-dessus du sol, sauf dans le cadre d'opérations de police ou de service ou de gestion de la réserve.

La Réserve étant classée notamment pour sa grande richesse ornithologique, il est important de ne pas créer de dérangement qui risquerait d'être préjudiciable aux oiseaux. Aussi, l'utilisation de drones (DJI Mavic Pro) pour diverses actions d'inventaires a été analysée.

► Comptage sur une héronnière mixte

Le comptage au sol étant fastidieux et loin d'être exhaustif, il s'agissait de tester le survol de la héronnière par le drone afin d'évaluer la réaction des oiseaux. En 2018, l'utilisation d'une tablette pour le retour vidéo a permis une meilleure lisibilité et le logiciel de prospection automatisé avec le suivi d'un parcours de vol préenregistré a facilité les assemblages d'images et limité le risque de double comptage (DJI ground station pro ou Station pro).

Résultats : les nids enfouis dans les buissons restent difficilement discernables mais cette méthode apporte une meilleure précision que le comptage manuel et un gain de temps. Des réactions d'inquiétude des oiseaux, n'allant pas jusqu'à la fuite, sont observées.

Conclusion : pour ce type de comptage, avec des nids très imbriqués dans la végétation, le bilan est encourageant et demande à être amélioré dans les années à venir. Pour des espèces dont la nidification est plus « éparpillée » comme le Héron pourpré, ces prospections sont très efficaces.

Perspectives : l'imagerie thermique nocturne pourrait permettre de déceler les oiseaux sous le couvert de végétation. Certains drones disposent désormais d'objectifs avec zoom permettant de ne pas descendre plus bas que 49 m mais d'améliorer la qualité des prises de vue.

► Comptage sur une colonie de Guifettes moustac

Les Guifettes moustac nichent sur la végétation flottante des étangs dans des nids cachés par un couvert végétal croissant. Le survol des colonies de Guifettes par drone a été réalisé par paliers de descente.

Résultats : dans une végétation avec une strate haute (baldingères notamment) les plateaux de nidification sont bien visibles et les adultes se devinent sur les nids : 14 nids comptés depuis le sol, 19 grâce au drone. La réaction des oiseaux, avec un survol à 15 m, était inexistante. Cette altitude est suffisante pour contrôler la présence ou non de jeunes, leurs nombres ainsi que leur stade de développement.

Conclusion : la capacité de collecte de données par cette méthode est rapide et simple. L'exploitation des images est facile et les Guifettes ne semblent pas être perturbées par le survol.

Perspectives : cette expérimentation sera donc réutilisée pour le suivi des poussins afin d'évaluer le succès de reproduction de cette espèce.

Pour ne pas risquer la mise en péril de la reproduction, aucun vol n'a été fait en deçà de 49 m au-dessus de la héronnière mixte et de 15 m au-dessus de la colonie de Guifettes.

► Recherche de nids de Butor étoilé

Chercher un nid de Butor étoilé de 25 cm de diamètre sur de grandes surfaces de roselière demande à être méthodique. Le comptage au sol présente un double risque : le dérangement et la production de trouées facilitant l'accès à des mammifères dans la végétation. Le survol par drone permet le repérage des plateaux de nidification potentiels. Une vérification *in situ* des points relevés est ensuite réalisée depuis l'eau.

Résultats : cette méthode n'a pas permis de trouver de nid supplémentaire de Butor mais a toutefois permis la découverte de 3 nids supplémentaires de Hérons pourprés.

Conclusion : le drone n'est pas l'outil le plus adapté dans ce cas-là. Les butors et hérons ne semblent pas être perturbés par le survol.

Perspectives : l'imagerie thermique pourrait peut-être permettre l'obtention de résultats plus concluants.



«Retour à la maison» du drone par enregistrement initial de la localisation et reconnaissance de la base - © RNN de Chérine



Comptage de Hérons pourprés. Possibilité de compter les jeunes au nid - © RNN de Chérine



Héronnière mixte : Hérons pourprés au milieu de Hérons Garde-bœufs et d'Aigrettes garzette - © RNN de Chérine

AUTRES APPLICATIONS

L'inventaire forestier assisté par laser aéroporté en Chartreuse

Jérôme BOCK, Alain MUNOZ, Catherine RIOND et Anne JOLY, Office National des Forêts

L'ONF a mis au point une méthode innovante d'inventaire forestier assisté par LiDAR basée sur la détection de couronnes d'arbres dans un nuage dense de points. Le principe consiste à établir des relations entre des variables forestières d'intérêt mesurées sur des placettes de calibration d'une part et des indicateurs issus du nuage de points d'autre part.

En automne 2016, 125 km² de forêt de Chartreuse (Isère et Savoie) ont été survolés au LiDAR, à une densité moyenne de 20 pts/m². Un algorithme (SEGMA) permet ensuite de détecter automatiquement les couronnes d'arbres dans le nuage de points et de calculer des indicateurs associés.

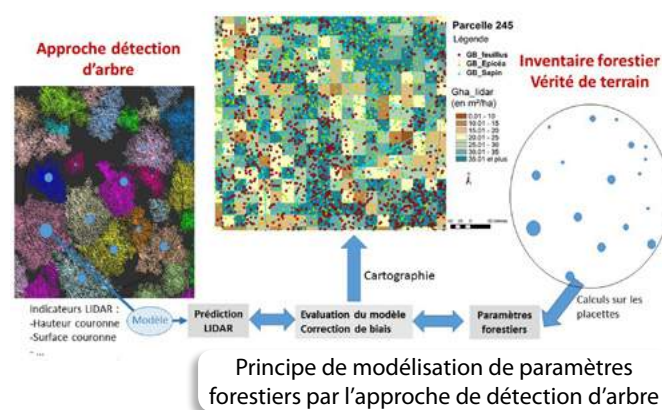
En été 2015, toutes les tiges de plus de 17,5 cm de diamètre ont été inventoriées sur 298 placettes. Près de 2 500 arbres ont pu être mis en relation avec une couronne LiDAR pour constituer une base de données d'apprentissage.

À partir des caractéristiques des couronnes des arbres détectés, il est possible de prédire leur diamètre avec une erreur moyenne de 16 %. Des indicateurs de morphologie du houppier permettent de distinguer 3 groupes d'essences (sapins, épicéas, feuillus) avec 70-80 % de bonne classification. Grâce à une implémentation de SEGMA dans la plateforme Computree, l'ensemble de la zone couverte au LiDAR a été traitée. Ce modèle est très utile pour

prédire les gros bois avec une précision totale de 85 % et une sur-détection très faible (évaluée à moins d'une tige sur les placettes de calibration de 0.07 ha de surface).

Des résultats prometteurs de l'arbre à la forêt

Il est ainsi possible de localiser précisément la ressource forestière dans un objectif de gestion durable : récolte des gros bois, préservation d'îlots de très gros bois, localisation des trouées de régénération, etc.

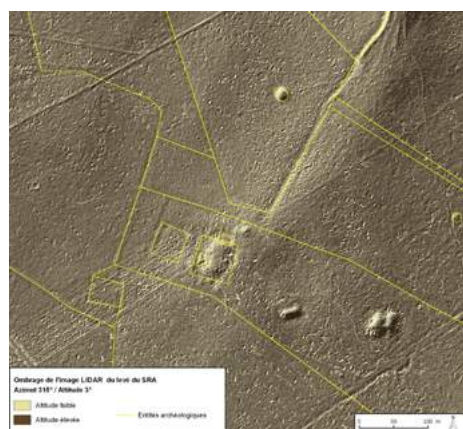


Principe de modélisation de paramètres forestiers par l'approche de détection d'arbre

Application à la recherche archéologique

Marie HÉRAUDE, Université de Picardie Jules Verne à Amiens (stage 2014)

L'archéologie est l'un des domaines de prédilection pour l'utilisation du LiDAR. La nécessité d'étudier la répartition des sites archéologiques passe par le recours à un MNT à grande résolution (10 cm en altitude, 20 cm en planimétrique, pour une densité de 5 pts/m²) pour mettre en évidence des « anomalies » de surface qui peuvent être le signe de sites anciens.



Réseau d'entités archéologiques

En 2014, une équipe du Service Régional d'Archéologie a procédé, en forêt de Compiègne (60), à une série de recherches d'entités gallo-romaines à l'aide de cette technologie. Cela a permis en complément des prospections la mise en évidence d'un vaste réseau de structures Gallo-Romaines en plus de celles déjà connues. La majorité étant jusqu'alors inconnue car invisible ou inaccessible du fait d'une végétation abondante.

Sensibiliser par l'esthétique des milieux et paysages

François NIMAL, Conservatoire d'espaces naturels Normandie Ouest

Dans le cadre d'un appel à projet initié par la Région Normandie, le CEN Normandie Ouest et le PNR Normandie-Maine se sont associés pour mettre en œuvre un projet s'appuyant sur une sensibilisation locale par l'esthétique des milieux et des paysages. Une web-série alliant acteurs locaux, paysages et espèces emblématiques est à découvrir sur le site du CEN Normandie : <http://cen-normandie.fr/mediatheque>

En prenant de la hauteur à l'aide d'un drone, les images réalisées par le CEN Normandie Ouest (voir première de couverture) permettent de présenter le paysage sous un angle de vue inédit et de susciter ainsi un nouvel intérêt et une certaine fierté pour l'ensemble des acteurs. Les habitants et élus prennent conscience de l'importance de la préservation des milieux naturels et sont davantage sensibles aux actions menées par le Conservatoire. La sensibilisation par l'esthétique apporte des résultats concrets en renforçant la motivation des propriétaires à s'engager dans la préservation de leurs terrains.

GLOSSAIRE

- **Classification orientée objet** : type de classification qui ne traite plus le pixel de manière isolée mais des groupes de pixels (objets) dans leur contexte à différentes échelles de perception du paysage.
- **Classification supervisée (ou dirigée)** : classification se basant sur la connaissance *a priori* des classes en utilisant des échantillons in-situ.
- **Émulsion** : renvoie à la chambre photographique argentique utilisant des émulsions chimiques photosensibles.
- **Hyper-spectral** : fait référence au nombre de bandes disponible à travers le spectre électromagnétique. Par comparaison, l'imagerie multi-spectrale fait l'acquisition de moins d'une dizaine de bandes discrètes du spectre tandis que l'imagerie hyperspectrale fait l'acquisition de plus de 1 voire d'une centaine de bandes selon une résolution spectrale plus fine.
- **Hyporhéïque** : qualifie la zone située en dessous et à côté du lit d'un ruisseau d'eau douce, où il y a mélange des eaux souterraines profondes et des eaux de surface.
- **Multi-spectral** : en photographie aérienne ou en télédétection aérospatiale, caractérise un appareil de prise de vue permettant d'obtenir simultanément des enregistrements dans différentes bandes du spectre visible ou de l'infrarouge.
- **Phénologie** : chez les végétaux, la phénologie est l'étude de leurs phases de développements saisonniers : feuillaison, floraison, fructification, jaunissement automnal... Ces développements sont liés à certains paramètres météo-climatiques.
- **Photo-interprétation** : désigne l'interprétation visuelle des photographies aériennes et des images spatiales.
- **Polarimétrie** : science de la mesure de la polarisation de la lumière. La manière dont la lumière se polarise après s'être réfléchi sur une surface permet de caractériser cette surface.
- **Résolution spatiale** : taille de l'élément élémentaire de l'image, appelé pixel, exprimé en longueur sur le terrain.
- **Résolution temporelle** : fréquence de passage du capteur sur le même point.
- **Retour d'onde complète** : caractérise les systèmes LiDAR, conçus avec la capacité de numériser l'intégralité du signal retour. On parle en anglais de LiDAR full-waveform.
- **Spectre optique** : ou spectre visible est la partie du spectre électromagnétique visible pour l'humain.

BIBLIOGRAPHIE :

Retrouvez la bibliographie de ce cahier technique sur le site du Centre de Ressources Loire nature :
<http://centrederesources-loirenature.com/base-et-produits-documentaires>



REMERCIEMENTS

La Fédération des Conservatoires d'espaces naturels remercie toutes les personnes qui ont contribué à ce document, qu'ils aient apporté leur propre retour d'expérience, les informations techniques ou bibliographiques dont ils disposaient ou toute autre forme de participation.

Merci aux auteurs des photographies d'avoir permis leur utilisation.

Éditeur : Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, Pôle Loire - 6 rue Jeanne d'Arc 45000 Orléans • Imprimeur, réalisation : Concordances

ISBN : 979-10-92631-09-8 - ISSN : 2556-9899

Dépôt légal : Décembre 2018

Directeur de la publication : Christophe Lépine, Président, Fédération des Conservatoires d'espaces naturels

Coordination de l'ouvrage : Fédération des Conservatoires d'espaces naturels

Comité de rédaction : Samuel Alleaume (Irstea), Jérôme Bock (ONF), Joanie Catrin (DGALN), Marie Héraude (Université de Picardie), Claire De Kermadec (DGALN), Antoine Dionis du Séjour (DREAL Centre-Val de Loire), Martial Duqueyroux (DGAC), Benoît Fritsch (CEN Bourgogne), Anne Joly (ONF), Marianne Laslier (Université de Rennes), Vincent Légé (CEN Auvergne), Jérôme Lejot (Université de Lyon), Charlotte Le Moigne (FCEN), Pascal Lory (DGALN), François Nimal (CEN Normandie Ouest), Alain Munoz (ONF), Sébastien Rapinel (Université Rennes), Catherine Riond (ONF), Yann Sellier (GEREPI), Annabelle Tollié (EDF), Julien Vêque (RNN de Chérine), Youenn Pierre (Syndicat du Bassin Versant de Grand-Lieu).

Comité de relecture : Samuel Alleaume (Irstea), Maëlle Decherf (FCEN), Stéphanie Hudin (FCEN), Marc Isenmann (Conservatoire Botanique National Alpin), Charlotte Le Moigne (FCEN), Bruno Mounier (FCEN), Sandrine Poirier (FCEN), Agnès Raysséguier (FCEN).

Ouvrage à citer sous la forme : Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 2018. Les nouvelles technologies dans l'étude des milieux humides : exemples d'applications. Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, 20 p.

Ce document ne peut être vendu. Il est téléchargeable gratuitement sur :
<http://centrederesources-loirenature.com/reseau-zones-humides/publications/cahiers-techniques>

Le réseau des Conservatoires d'espaces naturels

À l'échelle nationale

Depuis près de 40 ans, les Conservatoires d'espaces naturels contribuent à préserver le patrimoine naturel et paysager par leur approche concertée et leur ancrage territorial. Près de 3 300 sites naturels couvrant 160 689 hectares sont gérés par la maîtrise foncière et d'usage. Leurs interventions s'articulent autour de quatre fondements : la connaissance, la protection, la gestion et la valorisation.

La Fédération des Conservatoires d'espaces naturels a pour mission de favoriser les échanges entre ses membres afin de renforcer leurs actions sur le terrain. Les 29 Conservatoires sont adhérents. Elle anime également des programmes comme le pôle relais tourbières et le plan national d'actions Chiroptères, ou dans le cadre du plan Loire et du plan Rhône.

À l'échelle du bassin de la Loire

Les 9 Conservatoires d'espaces naturels concernés gèrent plus de 5 000 hectares de zones humides répartis sur 312 sites. Près de la moitié de ces zones humides sont situées en zone alluviale.

Cette publication est cofinancée par l'Union européenne. L'Europe s'engage sur le bassin de la Loire avec le Fonds Européen de Développement Régional.

Contact

Fédération des Conservatoires d'espaces naturels
6, rue Jeanne d'Arc – 45000 Orléans
www.reseau-cen.org

www.centrederesources-loirenature.com

Charlotte Le Moigne – Chargée de mission Loire – Animation du réseau d'acteurs zones humides.

Tél : 02 38 24 20 95

charlotte.lemoigne@reseau-cen.org



Avec le soutien financier de :



Dans le cadre du :

