

Suivi environnemental des herbiers de rivière par imagerie acquise par ULM et drone : retour d'expérience et potentiel

Arnaud DURAND¹, Mathias STUDER¹, Anne-Laure MARCHAND², Florian MAURIS², Nina RICHARD³

¹ Université de Strasbourg - SERTIT – arnaud.durand@sertit.u-strasbg.fr

² EDF DTG – anne-laure.marchand@edf.fr

³ Université de Tours - CETU Elmis Ingénieries – nina.richard@univ-tours.fr

RÉSUMÉ. – L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel des données acquises par drone et ULM pour la cartographie et le suivi des herbiers de rivière en amont des centrales nucléaires de production d'électricité (CNPE). Les expérimentations ont été menées sur deux cours d'eau différents, la Vienne et le Rhône, en exploitant des données acquises par ULM et drone dans le visible et le proche infrarouge. Compte-tenu de la très haute résolution de ces images, une approche orientée objet combinée à une classification supervisée par méthode kNN (K-Nearest Neighbor) ont été adoptées. Les résultats obtenus sont très encourageants quant à la détection des macrophytes. Cette étude a également permis de mettre en avant l'importance décisive des phases amont (maîtrise des protocoles d'acquisition, choix du matériel, ...) pour l'exploitabilité des images.

Mots-clés : environnement, herbier, rivière, drone, télédétection, CNPE

Study of the potential of imagery acquired by drone and ultra-light aircraft for environmental monitoring of grass beds

ABSTRACT. – The aim of this study is to assess the potential of drone and ultra-light aircraft for mapping and monitoring grass bed located upstream from nuclear power station. These experiments have been carried out over two different rivers, la Vienne and le Rhône, France, using visible and near infrared drone and ultra-light aircraft data. Regarding the very high resolution, an object-oriented approach combined with a kNN (K-Nearest Neighbor) supervised classification have been adopted. Results are very encouraging concerning the detection of grass bed. This study also highlights the critical issue of early stages (control of protocols for data acquisition, choice of equipment...) for the drone image operability.

Key-words: environment, grass beds, river, drone, remote-sensing

I. INTRODUCTION

Les aptitudes du drone en termes de stabilité et de programmation des trajectoires font de cet appareil un outil multifonctions efficace qui laisse entrevoir son utilisation dans un grand nombre de situations métiers. Les enjeux liés à l'utilisation des drones sont forts :

- enjeu de sécurité : pas de mise en danger du personnel par une limitation de l'exposition,
- enjeu économique : logistique de mise en œuvre simplifiée, acquisition des données plus rapide,
- enjeu technique : accessibilité à des zones non observables depuis le sol.

L'objectif des études présentées ici est d'étudier la pertinence de campagnes d'imagerie acquise par drone pour le suivi de la présence d'herbiers en amont des centrales nucléaires de production d'électricité (CNPE). Le but est de réaliser une surveillance préventive locale afin d'avoir une meilleure connaissance du milieu et d'affiner les périodes de vigilance pour les CNPE ; une présence trop importante de macrophytes en amont étant susceptible de provoquer des incidents [Carrel, 2009]. Pour cela, plusieurs objectifs sont à atteindre pour répondre au besoin de suivi

environnemental : établir la présence ou l'absence d'herbiers, évaluer les espèces majoritaires, ainsi qu'estimer la biomasse de macrophytes présente dans les secteurs étudiés. Ce type d'étude est traditionnellement réalisé par des relevés terrain [AFNOR NF T90-395, 2003], combinés à une approche par photo-interprétation sur des images aériennes.

De par ses atouts en termes de flexibilité et d'accessibilité aux zones d'intérêt, le drone apparait comme une solution technique d'acquisition intéressante offrant une plus-value dans ce type d'application. De plus, cette fourniture de données d'imagerie à très haute résolution spatiale offre un potentiel intéressant permettant de délivrer des informations d'une grande précision géométrique et thématique. Ceci nécessite le développement de méthodes d'analyses et de traitements d'image robustes et rapides à mettre en œuvre afin de contribuer de manière pertinente aux analyses environnementales.

II. EXPÉRIMENTATIONS

Les expérimentations présentées ici ont été menées sur la Vienne et sur le Rhône. Plusieurs moyens aéroportés

d’observation (drone et ULM) ont été combinés avec une approche terrain, permettant d’initialiser les analyses puis de valider les analyses réalisées sur les images. Par ailleurs, d’autres expérimentations non approfondies ici ont été réalisées afin de tester les limites de différents vecteurs drones et leurs capteurs embarqués :

— Expérimentation sur le Rhône avec un hexacoptère, double charge avec un capteur Sony Nex7 pour les bandes du domaine visible (rouge, verte, bleue) et un Sony Nex5 avec un filtre pour le proche infrarouge à 720nm ; cartographie de différents indices sur une zone d’environ 800 mètres linéaires ;

— Expérimentation sur la Garonne avec un drone à voilure fixe du type DT-18, double charge avec deux capteurs CMOS Global Shutter de 1280x1024 pixels ; cartographie d’une grande zone avec un très grand nombre d’images, 130 kilomètres parcourus.

— Expérimentation sur la Moselle combinant le même jour une acquisition aérienne par caméra DMC II/ 250 et des acquisitions par un drone quadricoptère de type MD4-1000, embarquant un capteur Sony Nex7, puis un capteur 6 bandes Tetracam Mini-MCA.

III. EXPÉRIMENTATION SUR LA VIENNE

L’expérimentation est réalisée en amont de la CNPE de Civaux dans le département de la Vienne, sur un tronçon d’environ 28km linéaires entre le village de Queaux et la centrale. Des relevés de terrain ont été réalisés sur quatre stations, mettant en évidence la présence de trois espèces principales : la Jussie (*Ludwigia grandiflora*), le potamogeton (*Potamogeton nodosus*) et la renoncule (*Ranunculus fluitans*).

III.1. Données

Les données ont été acquises en plusieurs campagnes avec les vecteurs ULM et drone de type hexacopter, tous deux embarquant une capacité d’acquisition dans le domaine visible et proche infrarouge au moyen d’un filtre. Par ailleurs, plusieurs campagnes de terrain ont été menées durant les périodes estivales de 2012 et 2013, périodes de prolifération de ces espèces. Il est à noter que pour ces périodes, seules les acquisitions ULM sont disponibles. A chacune des stations, les mesures de terrain ont été faites le long de transects perpendiculaires à l’écoulement, depuis les berges jusqu’au centre de la rivière. Pour chaque transect, les surfaces et taux de recouvrement ont été estimés et des pesées, en plusieurs points des stations (placettes) ont permis de

quantifier la proportion de chaque taxon. De plus, une analyse par photo-interprétation (digitalisation des espèces sur de l’imagerie acquise dans le visible) a été réalisée par un expert en hydrobiologie et écologie des cours d’eau, permettant d’obtenir une délimitation spatiale de référence des principales formations végétales. Les données disponibles sont résumées dans le tableau 1.

L’analyse des images s’est initialement concentrée sur 700 m linéaires à hauteur de la station de Queaux puis a été étendue à 23 km jusqu’à Civaux .

III.2. Approche méthodologique

La cartographie des macrophytes et la quantification de la biomasse est un domaine connu en télédétection. De nombreux travaux ont été réalisés en utilisant des images satellites ou aériennes, du domaine multispectral [Jakubauskas *et al.*, 2002] [Nicolas *et al.*, 2009] [Schmidt et Witte, 2010] ou hyperspectral [Visser et Hill, 2011] [Lee *et al.*, 2011]. Cependant, l’utilisation d’images acquises par drone pour ce type d’étude est un domaine innovant et nécessite une méthodologie adaptée aux caractéristiques spatiales et spectrales des images.

La méthode d’analyse des images retenue s’appuie sur une approche orientée objet, qui repose sur le principe que l’information sémantique des images acquises à très haute résolution spatiale, et a fortiori des données aéroportées et drone, n’est pas contenue dans un pixel unique, mais dans un ensemble de pixels. L’approche proposée intègre l’information contextuelle contenue dans un groupe de pixel (couleur, forme, proximité, taille,...) et se rapproche d’une analyse et d’une interprétation cognitive humaine. Cette démarche repose sur deux étapes majeures : la segmentation et la classification. La segmentation est l’étape qui consiste à déterminer les groupes de pixels, appelés objets, comme l’illustre la figure 1.

Une fois l’image segmentée, une nomenclature de classification est définie : il s’agit du type d’espèce d’herbiers, plus des classes contextuelles en relation avec le paysage observé : l’eau, la ripisylve, les herbiers immergés, les ombres. Pour chaque objet, des paramètres sont calculés pour chaque bande spectrale (moyenne radiométrique, texture...), ainsi que des indices (NDVI, SABI, indice de brillance,...). Une classification supervisée par méthode kNN (K-Nearest Neighbor) est ensuite mise en œuvre pour permettre un protocole d’analyse le plus automatisé possible, robuste et rapide à mettre en œuvre. Son principe repose sur la sélection de k échantillons parmi les objets représentatifs de chaque classe. C’est à cette étape qu’une connaissance du terrain et/ou du

Tableau 1 : Données disponibles sur la Vienne.

VIENNE					
Date d’acquisition	Drone	ULM	Acquisition VIS	Acquisition PIR	Données terrain
Juillet 2012		✓		✓	✓
Août 2012		✓	✓	✓	✓
Juillet 2013		✓	✓	✓	✓
Août 2013		✓	✓	✓	✓
Octobre 2013	✓		✓	✓	
Décembre 2013	✓		✓	✓	

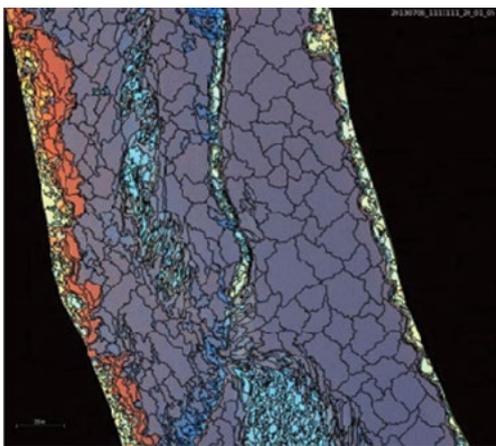


Figure 1 : Segmentation de l'image drone à hauteur de Queaux.

contexte est nécessaire, ou du moins opportune. Ainsi, tous les objets sont comparés à ces zones d'apprentissage sur la base des critères déterminés et sont affectés à la classe la plus proche. Il est possible d'obtenir, pour chaque objet, la proportion d'appartenance à chaque classe.

Les résultats obtenus sur la Vienne à partir des images aéroportées ULM acquises en juillet 2012, sont concluants. En effet, comme l'illustre la figure 2, on constate que les principales formations végétales et aquatiques ont été correctement extraites et discriminées.

III.3. Comparaison avec les données terrain

Cette classification a été validée en utilisant les données de terrain récoltées à la même période que les acquisitions drone et ULM. Dans un premier temps, la classification est comparée avec les différentes couches correspondantes aux principales formations, digitalisées sur les images après les campagnes de terrain. Cette première comparaison permet de mettre en évidence que la majorité des formations d'herbiers extraits par classification correspondent aux mêmes classes observées et digitalisées lors des campagnes de terrain et réparties dans les mêmes secteurs (Tableau 2). De plus, les limites géométriques des formations d'herbiers sont plus précises par traitement d'image que par digitalisation. Les herbiers non extraits ont été classés, soit en herbiers immergés, soit en ombres.

La seconde étape consiste à exploiter les transects (Tableau 3 et Fig. 3) et placettes réalisés lors de ces mêmes campagnes de terrain, dont les précisions géographiques et thématiques sont plus précises.

Ici encore, on constate que les espèces identifiées le long des transects correspondent aux formations extraites par classification semi-automatisée. Notons que si les herbiers immergés peuvent être détectés en eau peu turbide, il n'est pas possible d'en discriminer l'espèce.

D'autre part, les espèces sont souvent présentes en mélange, ce qui complique les caractéristiques spectrales et texturales sur lesquelles s'appuie l'algorithme de classification. Pour approfondir l'étude, des analyses menées sur les distances interclasses ont été menées, en s'appuyant sur

Tableau 2 : Comparaison entre les surfaces extraites et les surfaces digitalisées.

	Surfaces digitalisées	Surfaces extraites par classification	Pourcentage
Renoncule	241,3	279,6	86,3
Potamot	16 584,2	20 083,3	82,6
Jussie	463,1	750,7	61,7

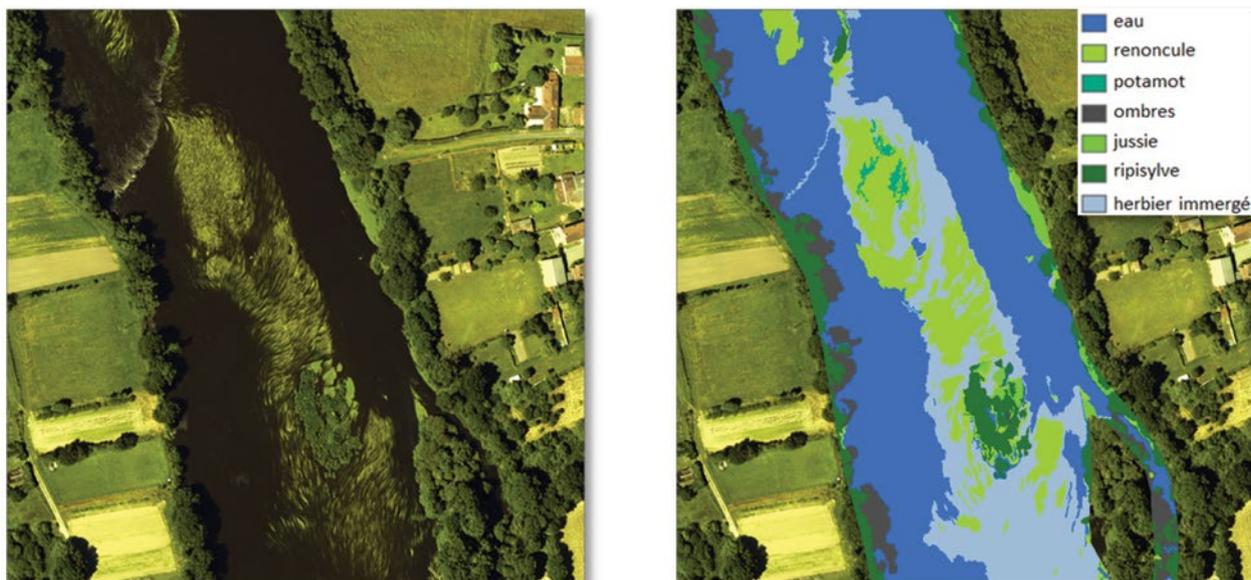


Figure 2 : Résultats de la classification sur les images ULM de juillet 2012.

	Transects		
	Tr1	Tr2	Tr3
<i>Azolla filiculoides</i>	-	-	-
<i>Fon final is antipyretica</i>	-	-	1
<i>Ludwigia grandiflora</i>	-	2	-
<i>Myriophyllum spicatum</i>	-	-	1
<i>Nuphar lutea</i>	-	-	-
<i>Potamogeton crispus</i>	-	1	-
<i>Potamogeton nodosus</i>	2	1	3
<i>Ranunculus fluitans</i>	5	2	3
<i>Vallisneria spiralis</i>	-	-	-

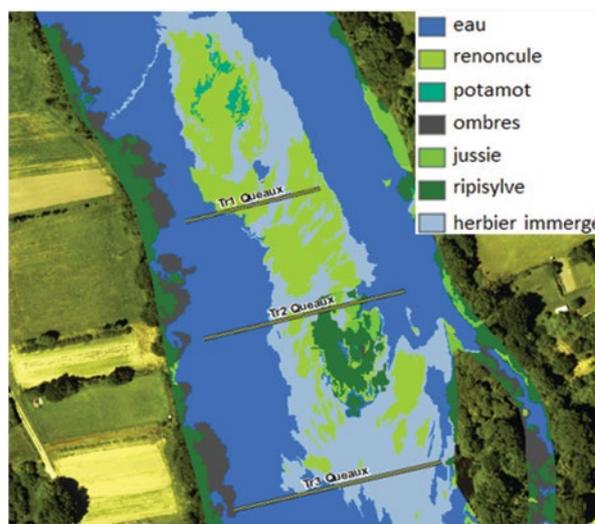


Tableau et figure 3 : Proportion d'espèces par transects et localisation.

des cibles pures pour la classification dirigée. Celles-ci n'ont pas été concluantes pour caractériser les mélanges d'herbiers, ce qui peut s'expliquer en partie par une qualité d'image non optimale, particulièrement dans l'infrarouge où le bruit et les décalages inter-bandes ont perturbé l'analyse.

Pour cette expérimentation, l'objectif présence/absence est atteint, ainsi que de manière partielle la caractérisation des espèces majoritaires, notamment la détection de la Jussie qui, par ses caractéristiques spectrales et son aire de répartition, permettent de l'identifier relativement facilement. Une amélioration des capteurs embarqués permettraient sans doute de progresser dans la caractérisation des complexes multi-espèces.

IV. EXPÉRIMENTATION SUR LE RHONE

IV.1. Données

L'expérimentation est réalisée en amont de la CNPE de Saint-Alban, sur un tronçon d'environ 30 km linéaires entre le village de Givors et la centrale. Une acquisition dans le domaine visible et proche-infrarouge a été réalisée au moyen d'un ULM.

Tout comme pour la Vienne, les données terrain disponibles sur ce secteur sont composées de transects associés à des points de pesées, ainsi que d'une digitalisation renseignant un degré d'abondance d'herbiers (et non une distinction des espèces).

IV.2. Approche méthodologique

D'un point de vue environnemental, le Rhône présente des caractéristiques très différentes de la Vienne. En effet, il s'agit d'un fleuve canalisé et artificialisé. Les eaux sont plus

turbides et homogènes. Les herbiers ne sont visibles qu'au niveau des berges et leur discrimination n'est pas ou très peu évidente du fait de cette turbidité. L'artificialisation du fleuve limite les secteurs à forts remous, mais d'autres perturbations au niveau des surfaces en eau existent toutefois, générées par le trafic fluvial (présence de bateaux et de leurs sillages). Enfin, la ripisylve engendre une ombre portée qui masque ou perturbe la détection de certains herbiers situés sur les berges. Ceci est dû aux conditions d'acquisition.

La démarche méthodologique de classification supervisée développée lors de l'expérimentation sur la Vienne est mise en œuvre sur 3 km linéaires entre Condrieu et Ampuis. La nomenclature de classification est adaptée afin de discriminer trois classes d'abondances d'herbiers.

IV.3. Comparaison avec les données terrain

Pour chaque transect, les trois classes d'abondances ont été comparées avec les abondances mesurées sur le terrain sur une échelle de 0 à 3. Malgré des conditions d'observations complexes (ensoleillement, remous, turbidité), près de 3/4 des herbiers extraits de l'image par classification sont concordants avec les observations de terrain (13 transects sur 18) concernant la présence/absence, ainsi que sur le degré d'abondance. Seuls 3 transects présentent une différence en termes de détection (présence/absence) et 2 en termes de discrimination du degré d'abondance.

Une matrice de confusion permet de qualifier les résultats de cette classification (Tableau 4). L'indice Kappa, qui permet d'estimer le degré de concordance entre les mesures effectuées sur le terrain (référence) et les extractions réalisées par classification, est de 72%. Un tel indice est généralement qualifié de « bon à très bon », ce qui permet de

Tableau 3 : Données disponibles sur le Rhône.

RHÔNE					
Date d'acquisition	Drone	ULM	Acquisition VIS	Acquisition PIR	Données terrain
Septembre 2012		✓	✓	✓	✓

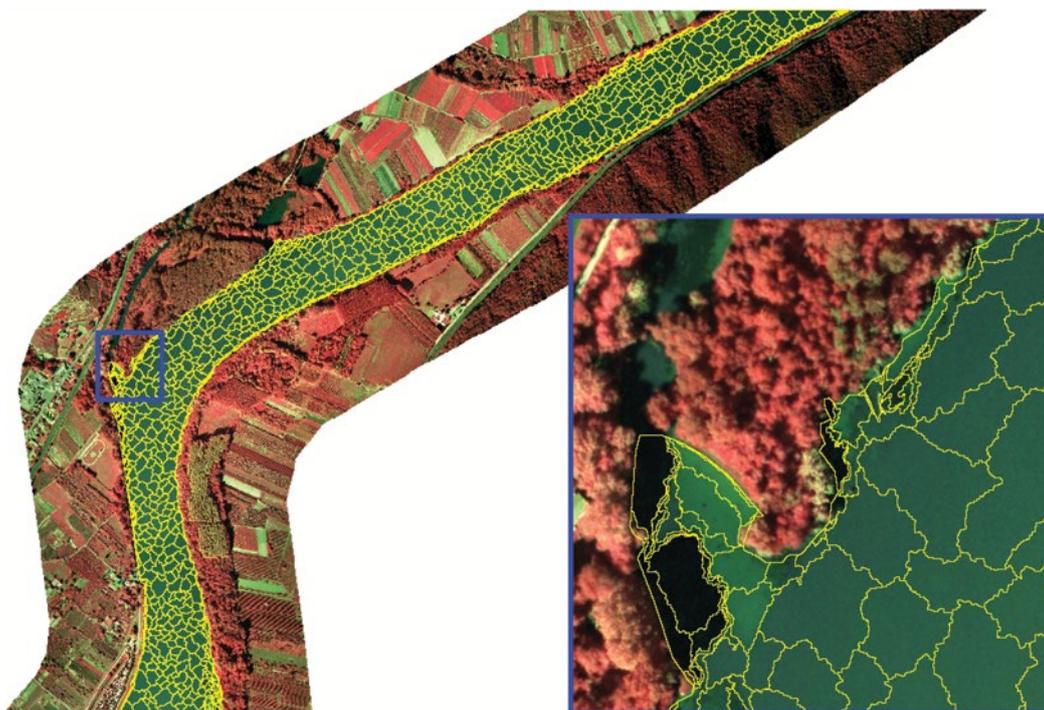


Figure 4 : Segmentation sur le secteur Condrieu-Ampuis.

Tableau 4 : Matrice de confusion d'estimation d'abondance.

		Abondance classifiée			
		0	1	2	Total
Abondance qualifiée sur le terrain	0	3	1	1	5
	1	1	7	2	10
	2	0	0	3	3
	Total	4	8	6	18

valider que l'objectif d'estimation de biomasse de macrophytes est possible en s'appuyant sur une nomenclature raisonnable, et à condition que les herbiers soient en surface ou à minima que la turbidité de l'eau permette une identification des herbiers immergés.

V. CONCLUSION

Dans la chaîne méthodologique, l'étape la plus critique et décisive pour l'exploitabilité des images est l'acquisition, combinant des facteurs techniques (vecteur, capteur) et des facteurs liés au milieu de réalisation de la mission (ensoleillement, vent, turbidité de l'eau...). La phase de prétraitements (orthorectification et mosaïquage des images) est elle aussi sensible puisque une bonne qualité des produits-images conditionne les traitements semi-automatiques.

Une approche objet combinée à la classification par plus proche voisin offre des résultats très encourageants et ce malgré des défauts identifiés sur les images brutes dus à des décalages entre bandes et au bruit engendré par l'utilisation

d'un filtre infrarouge. Outre la qualité des images, les principales limites rencontrées dans la détection des herbiers et leur discrimination tiennent principalement :

- à la turbidité et la profondeur des herbiers pour leur détection,
- aux perturbations environnantes (ombres portées de la ripisylve, activité anthropique, remous,...),
- à la date d'acquisition, les stades phénologiques et les complexes multi-espèces pour leur discrimination.

Plusieurs pistes sont en cours d'exploration pour améliorer la qualité du service au bénéfice des études environnementales, notamment l'exploitation de capteurs plus spécifiques. Comme évoqué dans le chapitre II, une expérimentation visant à estimer le potentiel du capteur Tetracam Mini-MCA, embarqué sur un drone Microdrones MD4-1000, est en cours sur la Moselle en amont de la CNPE de Cattenom. Cette caméra délivre des images multispectrales 6 bandes par capteurs à système de filtres : 3 bandes dans le domaine visible, 1 bande red-edge et 2 bandes dans le domaine proche-infrarouge. Le potentiel des images est investigué pour la discrimination des espèces d'herbiers, en comparaison avec

des acquisitions dans le domaine visible et proche-infrarouge réalisées avec le même vecteur, et des acquisitions aériennes réalisées avec une camera DMC II/ 250.

L'utilisation de drone pour réaliser un suivi local d'un linéaire apparaît comme pertinente et opérationnelle. La qualité des images obtenues permet de réaliser de manière fiable une identification de présence/absence d'herbiers en surface permettant le maintien ou non d'une vigilance sur les CNPE. Les couches thématiques de discrimination d'espèces et d'estimation de biomasse de macrophytes sont complémentaires aux mesures effectuées par pesage, très précises mais aussi très localisées (transects). En généralisant spatialement l'information discrétisée des stations, les produits réalisés apportent une réelle plus-value en support aux études environnementales. Les futures expérimentations permettront de consolider la méthodologie, tant du point de vue des acquisitions que de l'exploitation numérique et thématique.

VI. RÉFÉRENCES

AFNOR NF T90-395 (2003) — *Qualité de l'eau - Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)*.

CARREL G. (2009) — *CNPE de Cruas-Meysses Ardèche - Incident consécutif au colmatage de la prise d'eau par des macrophytes*. 10 p.

JAKUBAUSKAS M., D. PETERSON S., CAMPBELL S., CAMPBELL D., PENNEY J., DENOYELLES. (2002) — Mapping and monitoring invasive aquatic plant obstructions in navigable waterways using satellite multispectral imagery. *Pecora 15 / Land Satellite Information IV / ISPRS Commission / FIEOS 2002 Conference Proceedings*. 9 p.

LEE B.S., C. MCGWIRE K.C., FRITSEN C.H. (2011) — Identification and quantification of aquatic vegetation with hyperspectral remote sensing in western Nevada rivers, USA. *International Journal of Remote Sensing*. **32(24)** 9093-9117

NICOLAS H., SOURISSEAU A., HAURY J., BOTTNER B., AMRI R. (2009) — Monitoring invasive *ludvigia grandiflora* in the Vilaine basin using multispectral remote sensing. *12th EWRS International Symposium on Aquatic Weeds*

SCHMIDT M., WITTE C. (2010) — Monitoring aquatic weeds in a river system using SPOT 5 satellite imagery. *Journal of applied remote-sensing*. **4(1)**

VISSER F., HILL R.A. (2011) — Application of hyperspectral image data for species detection and biomass estimation of submerged macrophytes in UK chalk streams. *Proceedings of the 7th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*.