AFPP – 2ème CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN DES ESPACES VERTS, JARDINS, GAZONS, FORÊTS, ZONES AQUATIQUES ET AUTRES ZONES NON AGRICOLES

Angers – 28 et 29 octobre 2009

GESTION DES COMPLEXES D'INVASIVES SUR UNE GRAVIERE DE RENNES

J. COUDREUSE [(1)], J. HAURY [(2)] ET M. BOZEC[(3)]

[(1)] Laboratoire Ecologie et Sciences Phytosanitaires, UMR 0985 Ecologie et Santé des Ecosystèmes, INRA-AGROCAMPUS OUEST, 65 rue de Saint Brieuc, CS 84215 – 35042 Rennes, France, Julie.Coudreuse@agrocampus-ouest.fr
[(2)] Id, Jacques.Haury@agrocampus-ouest.fr
[(3)] Id, Michel.Bozec@agrocampus-ouest.fr

RÉSUMÉ

L'important risque de colonisation complète d'une ancienne gravière des Landes d'Apigné (Rennes, 35, France) par un complexe de macrophytes exotiques envahissants, dominés par *Ludwigia grandiflora* ssp. *hexapetala*, a conduit à la mise en place d'opérations annuelles d'enlèvements par arrachage manuel depuis 2006. Un suivi cartographique a mis en évidence la bonne efficacité de cette gestion avec un recul des surfaces colonisées de plus de 40% et des densités de plus de 15% en deux ans. Certaines caractéristiques abiotiques du site (ripisylve, batillage, substrat compacté) mais également les conditions de réalisation des travaux sont déterminantes. Un essai de modélisation pour la prédiction des données d'exportation (volumes et temps de travail) est proposé suite à une expérimentation préliminaire. En sus des caractéristiques biotiques et abiotiques, l'importance de la connaissance de l'historique de gestion réalisée est ainsi mise en évidence pour accroître son efficacité.

Mots-clés : Gestion, arrachage manuel, macrophytes envahissants, *Ludwigia*, modélisation.

SUMMARY

MANAGEMENT OF INVASIVE MACROPHYTES COMPLEX IN A POND BY RENNES

The risk of total colonization of a gravel-pond in Apigné (Rennes, 35, France) by a complex of invasive macrophytes, dominated by *Ludwigia grandiflora* ssp. *hexapetala,* has led to annual manual pulling weed management since 2006. A map monitoring has shown the efficiency of this management by reduction of colonized area (> 40%) and density (>15%) for two years. This success is due to abiotic factors (shade, swell, compacted substratum) and work conditions. A model for predicting export data (biovolume and work time), made by experimental test, is proposed. Completing the importance of biotic and abiotic parameters, the knowledge of recent management is highlighted for predicting its efficiency.

Key words: management, manual weeding, invasive macrophyte, *Ludwigia*, modelling.

INTRODUCTION

Actuellement, les invasions biologiques sont considérées comme étant la seconde cause responsable de la perte de biodiversité au monde, selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (après la destruction et la dégradation des habitats par l'homme). Les conséquences des invasions ne concernent pas que le maintien de la biodiversité et sont considérables et multiples : dysfonctionnement des écosystèmes natifs, impacts sur les activités humaines…. (Richardson *et al.,* 2000 ; Muller, 2004 ; Dandelot *et al*., 2005). Les étangs des Landes d'Apigné sont colonisés depuis plusieurs années par un complexe de macrophytes exotiques envahissantes (jussie, myriophylle du Brésil, paspale à deux épis et lentille minuscule). Suite à la mise en évidence de leur expansion sur le site, associée à la potentialité de colonisation totale des espaces révélée par les caractéristiques du milieu, la décision a été prise de réaliser une gestion par arrachage sur l'étang principal (Coudreuse *et al.,* 2005). Le choix d'une gestion par arrachage manuel sur cet important lieu de loisir pour la population rennaise (baignade, modélisme, pêche et nautisme) s'est fait suite à une volonté de limiter les perturbations sur le site (risques sanitaires associés aux blooms de cyanobactéries), de préserver les espèces indigènes en place et de respecter les recommandations du SAGE Vilaine, interdisant notamment l'utilisation des phytocides sur le bassin versant de la Vilaine (IAV, 2003).

Des campagnes d'arrachage manuel annuelles ont été réalisées depuis 2006. En vue de la gestion de ces colonisations, des essais d'arrachages manuels ont été réalisés sur différentes zones de cet étang afin de recueillir des données précises en termes de volumes d'exportation et de temps de travail mais également d'efficacité des travaux, dans le but d'améliorer la prédictibilité des opérations.

Cette étude propose et discute de (i) la présentation de l'efficacité de la gestion réalisée, mais également de (ii) l'évaluation d'un essai de modélisation pour la prédiction des données d'exportation (volumes et temps de travail) des opérations de gestion sur ce site.

MATERIEL ET MÉTHODE

SITE ET TAXONS CONCERNES

La base de loisirs des étangs des Landes d'Apigné (Ville de Rennes, 35, Bretagne), située en zone péri-urbaine, comprend un ensemble de 5 anciennes gravières. Cette base de loisirs a pour vocation l'accueil du public (baignade, nautisme, pêche, promenade).

Toutes ces anciennes gravières sont colonisées par diverses macrophytes exotiques envahissants : la jussie (*Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* (Hook. & Arn.) Nesom & Kartesz), le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum* (Vellozo) Verdcourt), la lentille minuscule (*Lemna minuta* Kunth in H. B. K.) et le paspale à deux épis (*Paspalum distichum* L). D'origine sud-américaine pour les deux premières hydrophytes libres, de l'ensemble du continent américain pour l'hydrophyte libre (lentille) et nord-américaine pour la dernière hélophyte (Peltre & Muller, 1997 ; Dandelot, 2004), ces espèces, introduites en France au début du XIXème siècle, sont retrouvées sur l'étang étudié. Si leur date d'introduction y est inconnue, elle est supposée récente ; la jussie semble être apparue sur le bassin-versant de la Vilaine au milieu des années 1990.

Avec moins de 7% de sa surface colonisée antérieurement aux opérations de gestion, pour une superficie de 18.36 Ha, le grand étang, site d'étude, représente le système le moins envahi. La colonisation réalisée en une bande continue sur l'ensemble de son pourtour, est dominée par la jussie.

Cet étang, avec une profondeur inférieure à 3, voire 2 m pour l'essentiel de sa surface, est potentiellement totalement colonisable par la jussie (celle-ci étant retrouvée sur des sites présentant des profondeurs jusqu'à 3m (Dutartre *et al.*, 1989). Un suivi

cartographique annuel a permis de mettre en évidence la dynamique certaine de la colonisation par la jussie (Coudreuse *et al.,* 2007), justifiant la décision d'intervention sur ce site.

En sus des difficultés engendrées par la colonisation par les macrophytes exotiques envahissants, un risque sanitaire est lié au développement périodique de cyanobactéries. Cet élément entraîne des conséquences importantes pour la gestion des macrophytes (limitation maximale de la remise en suspension des sédiments suite aux possibilités de relargage de Phosphore, déclencheur des blooms aux périodes favorables), limitant les interventions possibles sur le site à la fois en termes de fréquence (une par année) et de période de réalisation (post-été : automne).

EXPERIMENTATIONS D'ARRACHAGES MANUELS : OPERATION PRELIMINAIRE

Quatre grands types de végétation ont été identifiés sur le pourtour de cet étang, suite à la variabilité de paramètres abiotiques (profondeur et ombrage étant les plus variables) et de l'intensité de la colonisation. Des essais préliminaires d'arrachages manuels ont été réalisés en juin 2006 et 2007 sur quatre zones représentatives (A à D, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau I), afin de recueillir des données en termes de volumes d'exportation, de temps de travail mais également d'efficacité des travaux. Ceci dans le but d'améliorer la prédictibilité des opérations de gestion.

Tableau I : Caractérisation biotique et abiotique des zones d'essai d'arrachages manuels de juin 2006 et 2007 (moyennes ± écart-types).

Zones	A	B	C	D
Profondeur d'eau (cm)	31 +/- 19	30 +/- 4	67.5 +/- 5	60 ± 8
Eclairement	fort	faible	assez faible	fort
Pente de la berge	faible	abrupte	abrupte	faible
Recouvrement jussie (%)	90 ± 0	3 ± 1	86.7 ± 3	90 ± 0
Richesse spécifique	8.7 ± 0.6	3.7 ± 1	4 ± 0	11.3 ± 1.5

Les faciès de la végétation sont fonction des conditions mésologiques rencontrées :

- l'éclairement est ainsi le principal facteur limitant du développement de la jussie sur ce site (la zone B, à faible éclairement, ne présentant que 3% de recouvrement, pour près de 90% dans les autres zones),
- Si les herbiers des trois autres zones présentent des aspects similaires, leur organisation interne diffère. En effet, la pente de la berge et la profondeur conditionnent la surface d'ancrage de l'herbier. Aussi celles des herbiers des zones A et D sont-elle plus importantes, en association avec une colonisation de la colonne d'eau sous-jacente, tandis que les herbiers de la zone C sont de type radeau flottant, à colonne d'eau sous-jacente libre ou peu colonisée.
- Il est à noter qu'associées à un éclairement important, les berges en pente douce favorisent la diversité floristique, notamment par expression de la flore hélophytique (A et D).

Sur chacune de ces zones, quatre sous-zones d'une longueur linéaire de 7 m ont été délimitées puis ont subi une gestion (3 réplicats arrachées, 1 témoin non arraché).

Pour chacune de ces sous-zones, des relevés de végétation (détermination des taxons et estimation de leurs recouvrements respectifs) ont été réalisés avant puis à différentes dates après arrachage (quelques jours, un mois et deux mois), afin de permettre un suivi de la repousse et donc une évaluation de l'efficacité de l'opération de gestion. Le suivi après

opération n'ayant toutefois pas été réalisé sur la zone D, l'efficacité des travaux ne pourra y être estimée.

Lors de ces opérations d'arrachage, le temps de travail et les volumes végétaux exportés ont été mesurés. Ces données serviront à l'évaluation de ces paramètres pour l'ensemble du site suite à extrapolation sur l'ensemble de la zone à gérer (par type de zone, avec prise en compte des surfaces et recouvrements associés). Les volumes exportés ont été mesurés sur matériel frais, non lavé, tassé dans des contenants de volume connu.

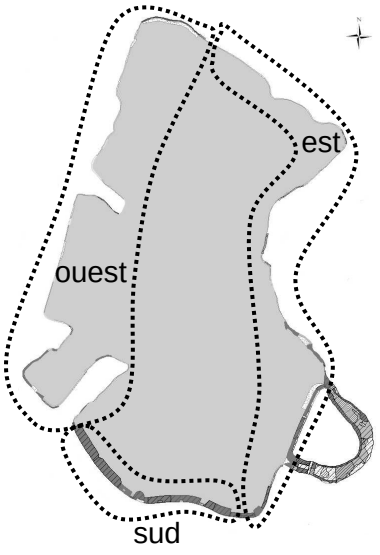
SUIVI DE LA COLONISATION DU SITE

Entre 2004 et 2008, 12 cartographies de la répartition de ces espèces envahissantes ont été réalisées sur le site, avec une fréquence minimale annuelle. Les optimums ayant été observés en fin de période de développement végétatif (septembre-octobre), les données issues de ces périodes serviront de référence à la comparaison inter-annuelle.

Les cartographies ont été réalisées par délimitation de zones de largeurs et de recouvrements homogènes de jussie ; l'ensemble des espèces présentes y a été recensé ; les abondances (recouvrement) de chacun des taxons présents ont été relevées. Ces données ont été transcrites via le logiciel ArcGis 8.3, pour obtention de cartes et bases de données associées, permettant notamment le calcul automatique des surfaces colonisées.

SUIVI DES TRAVAUX DE GESTION

Figure 1 : Délimitation des zones de travaux 2006-2008 (zones ouest, est et sud)



A partir de l'automne 2006, des opérations de gestion par arrachage ont été réalisées sur l'étang étudié (voir Fig. 1). En octobre 2006, seule la zone ouest a été traitée ; en septembre 2007 les zones ouest et est ; en octobre 2008, l'ensemble du pourtour. Ainsi, certaines zones ont subi de deux (zone est) à trois opérations de gestion (zone ouest).

Un suivi des travaux a été mis en place :

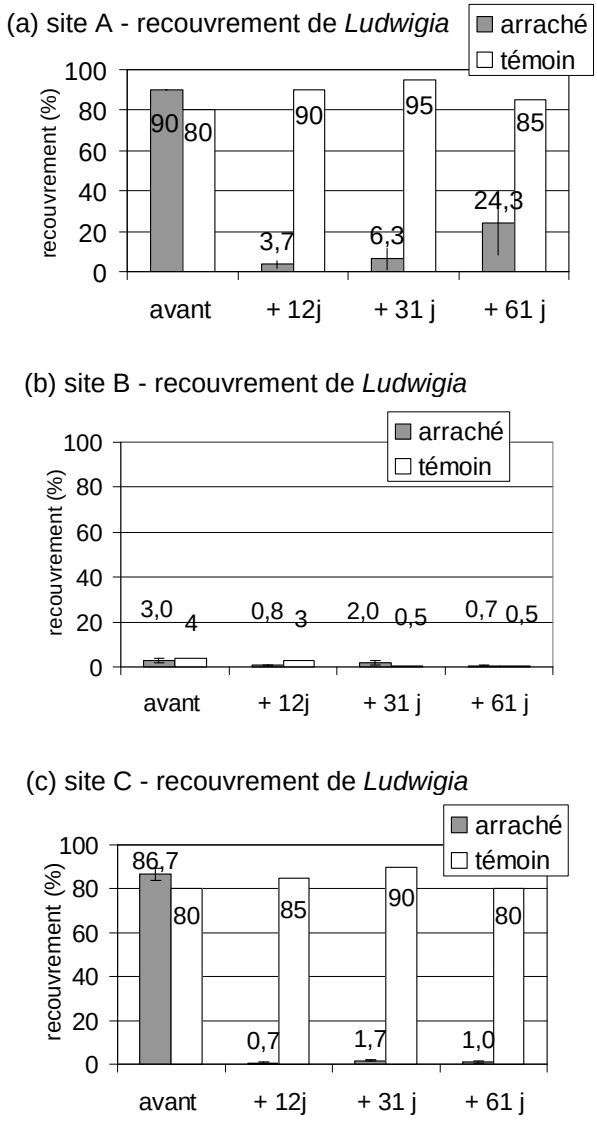
- (i) mesure des volumes exportés et des temps de travail effectifs,

- (ii) poursuite des cartographies, avant et après travaux, en vue de l'évaluation de leur efficacité.

RESULTATS

EXPERIMENTATIONS D'ARRACHAGES MANUELS : OPERATION PRELIMINAIRE

Figure 2 (a, b et c) : Evolution du recouvrement
de la jussie avant et après travaux sur les différentes zones étudiées (A, B & C). Les barres
d'erreur correspondent aux écart-types.



L'efficacité des arrachages à court terme (j+12 ou j+31) est importante quelle que soit la zone d'étude (Figure 2).

Toutefois, à long terme, cette efficacité est amoindrie sur le site A (2 mois après arrachage, les recouvrements en jussie sont augmentés d'un facteur 4). Cette repousse importante est probablement en lien avec un arrachage plus difficile, probablement moins exhaustif que sur les autres zones, les herbiers de jussie étant enracinés sur pratiquement toute leur surface. Les facteurs mésologiques (faible profondeur d'eau, éclairement important) particulièrement favorables à la croissance ont également pu y favoriser la repousse**.**

Pour la zone B, dont le recouvrement en jussie était faible avant travaux (3% en moyenne), l'efficacité de l'arrachage est bonne même à long terme (0.8% à j+61). Cette bonne efficacité est en lien à la fois avec une faible abondance initiale ayant permis un arrachage plus minutieux, mais également avec l'effet de l'ombrage procuré par la ripisylve, qui, s'il était déjà en cause du faible envahissement de cette zone, a pu permettre la limitation des repousses.

Concernant la zone C, la surface d'ancrage des herbiers (principalement en pied de berge, suite à une pente abrupte et une profondeur assez importante) plus réduite a permis de réaliser un enlèvement proche de l'exhaustivité. Associé à un ombrage relatif de la zone, l'efficacité à long terme reste importante.

Cette expérimentation a également permis de produire des données chiffrées de temps et volumes d'exportation, résumées dans le tableau II.

Les volumes d'exportations semblent bien être corrélés positivement avec les recouvrements initiaux ($r = 0.98$; $p < 0.01$). Ce n'est toutefois pas le cas pour les durées d'intervention ($r = -0.21$; $p < 0.01$), la zone la moins colonisée présentant des valeurs augmentées probablement du fait d'une intensification de la recherche et de la difficulté de la sélectivité de l'arrachage (présence de menthe aquatique dont les formes immergées peuvent être difficiles à différencier de celles de la jussie pour les opérateurs).

Tableau II : Données acquises lors des arrachages manuels de juin 2006 (A, B et C) et juin 2007 (D) sur les différentes zones d'essai.

Zones Données (pour 100 m²)	A	B	C	D
jussie : recouvrement (% avant gestion)	90 ± 0	3 ± 1	87 ± 3	90
Durée d'intervention (min / 4 personnes)	237 ± 24	207 ± 30	156 ± 61	154 ± 57
Volume d'exportation (m^3 de matériel tassé)	4.75 ± 0.023	0.047 ± 0.03	1.962 ± 0.061	4.1 ± 0.7

L'importance relative des volumes d'exportation (augmentés d'un facteur 2 à 2.5) en zones A et D par rapport à ceux obtenus en zone C, pour des recouvrements similaires, est à mettre en lien avec la structure des herbiers (enracinés sur toute leur surface et colonisant toute la colonne d'eau sous-jacente en zone A et D ; principalement en radeau flottant, à colonne d'eau sous-jacente libre en zone C).

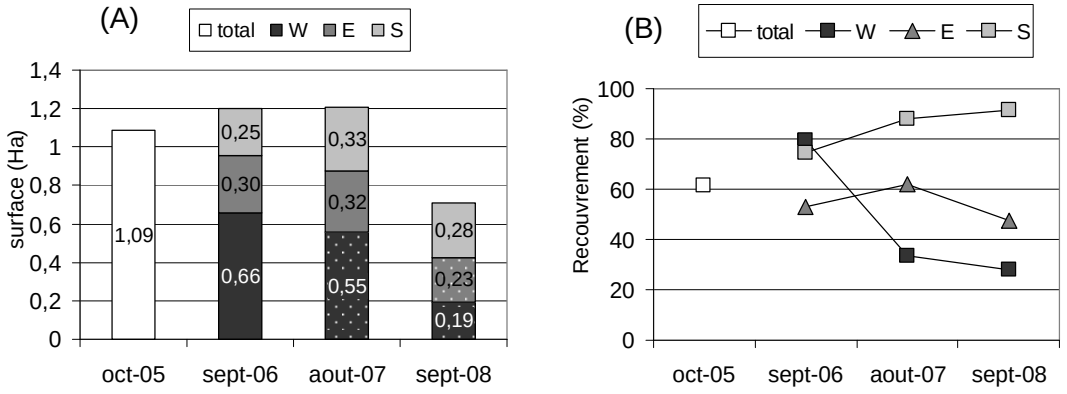
La présence d'espèces indigènes, malgré la sélectivité de la gestion, ne semble pas engendrer de surcoût en terme de temps de travail (données de temps maximales en zone A, minimales en zone D).

L'obtention des données maximales de volumes d'exportation et temps de travail sur la zone A illustre, pour des recouvrements similaires, la densification de cet herbier, situé dans les conditions les plus favorables à la productivité de cette amphiphyte.

OPERATIONS D'ARRACHAGES : RESULTATS

Antérieurement aux opérations de gestion sur le pourtour de l'étang, la comparaison interannuelle aux périodes de développement maximal des herbiers (octobre 2005 – septembre 2006) indique une poursuite de la colonisation durant l'année 2006, à la fois en termes de conquête de nouvelles surfaces [surfaces multipliées par 110%, voir Fig.3 (A)], mais également de densification des herbiers [recouvrements augmentant d'environ 10%, voir Figure 3 (B)], justifiant ces opérations d'arrachage au vu de la possibilité de colonisation de l'ensemble de l'étang par la jussie.

Figure 3 : Evolution des surfaces colonisées par la jussie (A) et recouvrement associé (B) d'octobre 2005 à septembre 2008 sur les différentes zones d'intervention (W : ouest ; E : est ; S : sud) *(N.B. : les zones ayant subi un arrachage l'année précédente sont matérialisées en pointillés dans la figure A)* – cartographies réalisées 1 à 4 semaines avant les opérations d'enlèvements.



L'efficacité du **premier arrachage** évaluée un an après travaux est peu importante du point de vue des surfaces colonisées. En effet, pour la zone ouest, la réduction est minime (0.55 ha en août 2007 pour 0.66 ha en septembre 2006 avant les travaux), mais reste un résultat positif de l'efficacité de la gestion puisque les autres zones colonisées non traitées ont vu leur colonisation se poursuivre (+ 30% pour la zone sud et + 6% pour la zone est). Sur la zone est, les résultats sont semblables. En effet, la plus forte réduction des surfaces colonisées (diminution de 30% : 0.23 ha en 2008 pour 0.32 ha en 2007) y est imputable pour moitié à une colonisation moins forte en 2008 (réduction de 15% des surfaces colonisées, avec maintien des fortes densités sur la zone sud, exempte d'interventions de gestion). Cette réduction des surfaces n'est donc que faible : seul l'arrêt de la colonisation en surface est observé.

L'efficacité du premier arrachage est plus nettement marquée par les résultats concernant les densités sur les zones colonisées, avec un facteur réduction de plus de 2 pour la zone ouest [33.5 % en 2007 pour 79.5% en 2006, alors que les recouvrements sur les zones non traitées ont légèrement augmenté (+ 17 et 18%)], et de 25% pour la zone est (48% en 2008 pour 62% en 2007).

L'efficacité du second arrachage (réalisé uniquement sur la zone ouest) s'exprime, quant à elle, principalement par une réduction des surfaces colonisées, alors presque divisées par un facteur 3 (0.55 ha en 2007 pour 0.19 ha en 2008). Si les résultats sont moins manifestes en termes de densité des herbiers, le bénéfice du premier arrachage est conservé.

En conclusion, les efficacités des arrachages sur les zones se traduisent principalement par un arrêt (voire une légère réduction) de la colonisation en surface associée à une réduction des densités lors de la première année, puis une réduction des surfaces colonisées avec conservation des bénéfices de l'arrachage précédent (recouvrements abaissés) la deuxième année.

Pour chacune des opérations de gestion réalisées sur l'étang d'Apigné, l'accent a été mis sur la **quantification des durées d'intervention et des volumes de jussie exportés**. Chaque année ont ainsi pu être enregistrées des données mesurées (sur le terrain, lors des opérations) et des données estimées (valeurs prédictives établies selon extrapolation des résultats des essais d'arrachage manuel sur les zones tests aux cartographies avant opérations de gestion). Une synthèse de ces données est présentée dans le tableau III.

Une illustration supplémentaire de l'efficacité des travaux est ainsi apportée par la forte réduction des volumes exportés mesurés sur les zones, avec une division de ces derniers par un facteur 8 pour la zone ouest (4.5 m^3 en 2008, 36.5 m^3 en 2007 pour 310 m^3 en 2006) et par un facteur 4 pour la zone est (20.5 m^3 en 2008 pour 75 m^3 en 2007).

Une partie de l'écart observé entre les volumes mesurés et les volumes estimés est imputable aux différentes méthodes de mesure employées. Ainsi, la mesure par estimation visuelle de matériel végétal disposé en tas sur le sol, réalisée en 2006, était-elle très éloignée (plus que doublée : 310 m^3 pour 128 m^3 estimés) de celle réalisée par mesure de matériel tassé dans des contenants lors de l'essai. Par contre en 2007 et 2008, les mesures ayant été réalisées dans des conditions comparables aux mesures expérimentales, les résultats sont beaucoup plus proches des estimations, ces dernières ne présentant qu'une

surévaluation de 16% en 2007 et une sous-évaluation de 20% pour la zone sud en 2008 (150 m^3 extraits pour 120 m^3 estimés).

Toutefois, en 2008, les valeurs prédites sont surestimées d'un facteur presque double pour les zones ouest et est, zones ayant subi une gestion les années précédentes. Ces résultats illustrent la limite de l'utilisation d'une méthode de mesure en deux dimensions (recouvrements) pour l'évaluation d'une mesure en trois dimensions (biovolumes) : une certaine variabilité de la densité (notamment colonisation plus ou moins importante de la colonne d'eau sous-jacente) ne peut être prise en considération par la méthode de l'évaluation des recouvrements végétaux.

En ce qui concerne les durées d'intervention, les données mesurées et estimées sont plus proches.

Lors des premiers arrachages sur une zone (ouest en 2006, sud en 2008), les estimations sont sous-évaluées de respectivement 15 à 18%, écart qui reste raisonnable.

En revanche, sur des zones ayant déjà été traitées précédemment, les estimations sont sur-évaluées de 25%. Ce résultat est également à mettre, pour partie, au compte d'une évaluation qui ne considère pas la baisse de densité, précédemment évoquée, pour un même recouvrement dans une zone ayant subi un arrachage préalable, rendant le travail d'arrachage plus facile et donc d'autant plus rapide.

Tableau III: Résultats des données de volumes d'exportation et durées d'intervention sur les zones traitées lors des arrachages manuels d'automne 2006, 2007 et 2008, sur l'étang des Landes d'Apigné, données mesurées et données estimées (--- : absence de données)

		mesuré			*estimé*		
		2006	2007	2008	2006	2007	2008
Volumes (m^3)	OUEST	310	36,5	4,5	128	39,5	13
	EST		75	20,5		89,5	47
	SUD			150			120
Durée d'intervention[1] (jours/ personne)	OUEST	152	---	36	132	176	48
	EST		---	44		76	60
	SUD			52			44

DISCUSSION

La gestion par arrachage manuel réalisé sur la jussie, et autres macrophytes exotiques envahissants présents, est actuellement une réussite sur le site du grand étang des Landes d'Apigné. La limitation est illustrée à la fois par analyse cartographique mais également par réduction des volumes d'exportations et temps de travail lors des campagnes d'enlèvement. Si, pour une même méthode de gestion, les résultats sur le site ne sont pas aussi spectaculaires que ceux obtenus sur l'étang Noir (Landes) en 1993 (réduction d'un

[1] Ces durées d'intervention ont été obtenues pour des groupes de 4 personnes. Elles ont été transformées pour aboutir en équivalent jour par personne, mais il est probable que le facteur de division utilisé (4) ne soit pas toujours adapté (efficacité plus grande en groupe, par exemple). La journée de travail est estimée à 7H.

facteur 10 des volumes d'exportation, Dutartre, Fournier et Oyarzabal, 2004 *in* Muller 2004), ils sont supérieurs à ceux obtenus dans les hortillonnages de la vallée de la Somme (Gavory & Toussaint 2004 *in* Muller 2004) entre 1997 et 2003 (à la troisième année d'arrachage, seule une stabilisation de la colonisation est observée, sans réduction des surfaces colonisés ni des volumes d'enlèvement) pour un ordre de grandeur similaire (extraction de 50 à 70 m^3 de matériel végétal/ 1000 m²).
Cette efficacité relativement importante pour une pression relativement faible (fréquence annuelle) est liée à (i) une bonne réalisation des opérations de gestion et (ii) certaines conditions mésologiques du site peu favorables au développement de la jussie.

(i) la formation des agents d'entretien en espace naturel réalisant les opérations d'enlèvement annuel sur une demi-journée par an (associée aux visites sur le terrain), a engendré leur réelle implication dans la gestion. Ainsi le respect des règles de sécurisation du site (mise en place de filets flottants afin de limiter la dispersion par bouturage, voire récolte à l'haveneau des boutures et feuilles flottantes[2]), mais également l'attention importante apportée à la sélectivité et l'exhaustivité des arrachages ont été obtenus, malgré un travail difficile [suite à la turbidité engendrée par l'arrachage, un second passage sur la zone est recommandé après rétablissement de la visibilité (Comité des Pays de la Loire pour la gestion des plantes exotiques envahissantes, 2004) ; ici, les passages effectués ont été fréquemment au nombre de trois],

(ii) le substrat de type granuleux compacté de cette ancienne gravière rend assez difficile l'ancrage des tiges (mais facile leur casse lors des enlèvements). Associé à une ripisylve relativement couvrante sur d'importants secteurs et un batillage pouvant être assez important, ces conditions limitent la capacité d'accueil du milieu pour la jussie (Dutartre *et al.,* 1989), bien que cette dernière possède une amplitude écologique importante et une forte capacité d'adaptation (illustrée par exemple par une analyse des types de sites colonisés à l'occasion du programme INVABIO par Dutartre *et al.,* 2007).

Les conditions mésologiques rencontrées par place conditionnent de manière assez importante le développement des herbiers. Ainsi, en accord avec la littérature (Peltre & Muller, 1997 ; Muller, 2004), dans ce système clos et stagnant, les zones de profondeur d'eau relativement faible (l'optimum écologique étant de 55 cm selon GEREPI, 2000 *in* Legrand, 2002) et les plus éclairées présentent les herbiers les plus importants. Cette étude a permis de mettre également en évidence l'importance de la topographie des berges sur l'architecture des herbiers et par voie de conséquence leur ampleur en terme de biomasse et biovolume. Le système de radeau flottant développé depuis les berges abruptes présente une architecture simplifiée, laissant la colonne d'eau sous-jacente peu ou non colonisée et une surface d'ancrage plus réduite, contrairement aux herbiers rencontrés sur des pentes faibles. Les premiers herbiers présentent donc des biovolumes moins importants permettant un meilleur enlèvement lors des opérations d'arrachage et ainsi une plus forte efficacité à long terme. En effet, les arrachages ne pouvant être totalement exhaustifs, plus la proportion de surface d'ancrage de l'herbier est grande, plus les plantes ou parties laissées en place seront abondantes et, par voie de conséquence, plus la recolonisation sera importante.

Le suivi cartographique annuel de l'évolution de la colonisation a permis de mettre en évidence une efficacité des pratiques de gestion en deux temps : (i) réduction des densités

[2] La formation de minuscules rosettes de feuilles sur des feuilles flottantes a été observée (le bourgeon axillaire s'étant détaché avec la feuille suite à l'enlèvement d'une partie de la tige, voire de l'épiderme uniquement). Si la plante est réputée pour ses capacités de bouturage importantes, il est à noter que cette observation ne semble pas avoir été faite dans la littérature. Si sur une feuille sénescente le risque d'emportement de ce bourgeon axillaire est minime, il est important sur des herbiers perturbés (opérations d'enlèvement mais aussi passage des animaux). Les conséquences pour la gestion sont importantes, toute feuille libérée étant désormais à considérer comme une diaspore potentielle, en sus des fragments de tige portant un nœud.

puis (ii) des surfaces colonisées. Ce schéma est tout à fait inverse à celui de la colonisation réalisée par la jussie que nous avons pu observer (en accord avec les remarques de Vermeil, 2004), celui-ci s'opérant dans un premier temps (1ère année de développement en général) par colonisation horizontale (accroissement des surfaces, conquête du territoire) puis, dans un second temps, par colonisation verticale (consolidation et densification des herbiers).

Les extrapolations réalisées depuis les essais d'enlèvements manuels sur des zones tests *via* les cartographies de l'ensemble de la colonisation se sont révélées pertinentes, avec des écarts constatés de 16 à 18%, pour l'évaluation des caractéristiques des opérations de gestions à mener. Toutefois, les extrapolations se sont révélées incorrectes pour la prédiction sur des zones en étant à leur Nième année de gestion. Ceci est lié à une limite de la méthode employée : une mesure dans un système en deux dimensions (recouvrements) ne pouvant prendre en compte une certaine variabilité dans le système tridimensionnel (biovolumes) final. Toutefois, au vu du gain de temps induit par l'utilisation des recouvrements pour réaliser une cartographie, notre méthode de travail reste pertinente mais devrait s'accompagner de la réalisation de mesures tests sur les zones d'essai identifiées avant chaque nouvel arrachage (soit une remise à jour des données sources avant extrapolation). On pourrait également supposer que les écarts ne seraient pas fonction du nombre d'interventions mais bien de leur présence ou absence. Ainsi le facteur correctif calculé lors des secondes interventions serait toujours applicable lors des interventions suivantes.

CONCLUSION

Cette étude illustre la bonne efficacité des opérations d'enlèvement de la jussie par arrachage manuel précautionneux, intervenant en stade précoce de la colonisation sur un système clos. Si l'éradication reste toujours inenvisageable, la limitation de la colonisation est importante et a notamment permis la reconquête du territoire par les indigènes (doublement de la richesse spécifique entre 2006 et 2007). Toutefois, malgré ces résultats positifs, les efforts ne doivent pas être relâchés, sous risque de perte du bénéfice des années de gestion antérieures : ce type de gestion doit bien être considéré comme un entretien régulier à programmer de manière systématique sur le long terme. La présence d'un complexe d'espèces invasives (jussie, myriophylle du Brésil, paspale à deux épis, lentille minuscule) induit la forte nécessité de surveillance du site. En effet, le risque d'envahissement par une (ou des) autre(s) invasive(s) est important suite à la libération de nombreuses niches écologiques *via* les opérations de gestion.

Si l'essai de modélisation pour la prédiction des données des opérations d'arrachages semble validé, dans cette étude, pour la première année d'arrachage, l'imprécision de la mesure par un système bidimensionnel (recouvrements végétaux) pour l'estimation de données tridimensionnelles (biovolumes) implique l'application d'un facteur correctif pour les opérations de gestion ultérieures. Ainsi, dans un système de modélisation à grande échelle, en sus des caractéristiques biotiques et abiotiques des sites, conditionnant l'ampleur des colonisations, les caractéristiques des gestions antérieurement réalisées devraient être également prises en compte.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Ville de Rennes, propriétaire et gestionnaire du site, pour le financement principal de cette étude, l'entreprise « Etudes & Chantier » pour leur implication dans ce programme de gestion et les différents stagiaires ayant participé à ces études (voir bibliographie).

BIBLIOGRAPHIE

Coudreuse J., Haury J., Dutartre A., Debril J. & Ruaux B., 2005 – Caractérisation de la colonisation par la Jussie (*Ludwigia grandiflora* ssp. *hexapetala*) et autres plantes envahissantes sur le site des étangs d'Apigné (mai 2004 – octobre 2005) : orientations pour la gestion. Agrocampus Rennes – INRA UMR EQHC & Ville de Rennes, Direction des Jardins : 69 p.

Coudreuse J., Haury J., Chapeau V., Urvois G. & Ballagny C., décembre 2007 – Colonisation par la jussie (*Ludwigia grandiflora* ssp. *hexapetala*) et autres plantes envahissantes des étangs d'Apigné : évolution, bilan des opérations d'arrachages (2006 & 2007). Agrocampus Rennes et Ville de Rennes : 22 p.

Comité des Pays de la Loire pour la gestion des plantes exotiques envahissantes, 2004 – Gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides, Guide technique. Editeurs : Agence de l'Eau Loire Bretagne, Forum des Marais Atlantiques, Direction régionale de l'Environnement Pays-de-la-Loire et Conservatoire régional des rives de la Loire et de ses affluents, 68 p.

Dandelot S., 2004 – Les *Ludwigia* spp. invasives du sud de la France : historique, biosystématique, biologie et écologie. Thèse de doctorat de l'Université de Aix-Marseille, texte : 207 p.

Dandelot S., Verlaque R., Dutartre A. & Cazaubon A. 2005 – Ecological, dynamic and taxonomic problems due to Ludwigia (Onagraceae) in France, Hydrobiologia 551 : 1–6.

Dutartre A., Delarche A. & Dulong J., 1989 – Plan de gestion de la végétation aquatique des lacs et étangs landais. Etude n°38. CEMAGREF, Bord eaux, 121 p.

Dutartre A., Haury J., Dandelot S., Coudreuse J., Ruaux B., Lambert, E., Le Goffe P., Menozzi M.J., 2007 – Les jussies : caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines. Implications pour la gestion. Programme de recherche INVABIO, rapport final, 128 p.

Institut d'Aménagement de la Vilaine (IAV), 2003 – Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux de la Vilaine, Agir pour le bassin versant de la Vilaine : proposition d'actions, 71p.

Legrand C., 2002 – Pour contrôler la prolifération des jussies (*Ludwigia spp*.) dans les zones humides méditerranéennes. Guide technique. Agence Méditerranéenne de l'Environnement, 68 p.

Muller S. (coord.), 2004 – *Plantes invasives en France*. Muséum national d'Histoire Naturelle, Paris, 168 p. (Patrimoines naturels, 62)

Peltre M.C. & Muller S., 1997 – *Biologie et écologie des espèces végétales proliférantes en France. Synthèse bibliographique*. Agences de l'Eau Artois-Picardie, Douai, 199 p. (Les Etudes de l'Agence de l'Eau, n°68).

Richardson D.M., Pysek P., Rejmanek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J., 2000 – Naturalization and invasion of alien plants : concepts and definitions, *Diversity and Distributions* 6 : 93-107.

Vermeil M., 2004 – Élaboration et mise en place d'un outil d'évaluation de l'impact des végétaux exotiques envahissants sur la végétation de la Loire et de ses principaux affluents Bassin de la Loire DESS "Gestion des zones humides-Biodiversité et ingénierie"(UFR Sciences Angers) Équipe Plan Loire Agence de l'eau Loire-Bretagne : 148 p.