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 JUSSIES EN FRANCE : IMPLICATIONS DES RELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES DES BIOTOPES ET LA PRODUCTION DE BIOMASSE

E. LAMBERT [(1)], J. COUDREUSE [(2)], A. DUTARTRE [(3)], J. HAURY [(2)]

[(1)] C.E.R.E.A., Centre d'Etude et de Recherche sur les Ecosystèmes Aquatiques, Université Catholique de l'Ouest, 44, rue Rabelais, BP 10 808, 49008 ANGERS CEDEX 01, France, elambert@uco.fr
[(2)] UMR INRA-: AGROCAMPUS OUEST 985 Ecologie et Santé des Ecosystèmes, 65 rue de Saint Brieuc, CS 84215, 35042 RENNES CEDEX, France, julie.coudreuse@agrocampus-ouest.fr, jacques.haury@agrocampus-ouest.fr
[(3)] Cemagref, REBX, 50, Avenue de Verdun, 33612 CESTAS Cedex, France, alain.dutartre@cemagref.fr

RÉSUMÉ
Les deux espèces de Jussie envahissantes en France ont colonisé des biotopes variés (marais, cours d'eau, étangs, …). De meilleures connaissances sur les principales caractéristiques de ces biotopes (lumière, profondeur, présence éventuelle de vagues, vitesse de courant, nature des substrats) influençant la production de biomasse (0,2 – 0,3 kg MS/m² à 2 – 4,3 kg MS/m²) peuvent permettre d'améliorer la mise en œuvre de la gestion mécanique ou manuelle de ces plantes.

Mots-clés : *Ludwigia* – Biotope – Biomasse – Gestion

SUMMARY
MANAGEMENT OF *LUDWIGIA* IN FRANCE: IMPLICATIONS OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN THE CHARACTERISTICS OF WATER BODIES AND BIOMASS PRODUCTION
The two *Ludwigia* species invading France have colonized various types of water bodies (wetlands, rivers, ponds, …). A better understanding of the principal characteristics of these water bodies (light, depth, waves, current velocity, nature of substrates) influencing the biomass production (0.2- 0.3 kg DM.m^{-2} to 2 – 4.3 kg DM.m^{-2}) allows to improve mechanical or manual management of these plants.

Key words: *Ludwigia* – Water bodies – Biomass – Control methods

INTRODUCTION

Dans de nombreux cas les dommages causés par les espèces exotiques envahissantes conduisent les gestionnaires des territoires où elles prolifèrent à tenter de réguler leurs populations, faute de pouvoir les éradiquer. Dans un premier temps, du fait du peu d'informations disponibles sur les espèces en cause, les gestionnaires sont souvent un peu désarmés dans la mise en œuvre de techniques efficaces permettant d'arriver à cet objectif de régulation.
Progressivement ils adoptent des techniques qui permettent d'atteindre plus ou moins rapidement cet objectif ; des informations complémentaires sur la biologie et l'écologie de ces espèces viennent améliorer leur mise en œuvre.
Les plantes aquatiques invasives sont en compétition aves les plantes indigènes, banalisent les habitats de la faune aquatique et gênent les usages humains des milieux colonisés. Pour ces plantes dont la production primaire importante est une des caractéristiques écologiques, les techniques de régulation les plus fréquemment utilisées sont des extractions mécaniques (moisson ou arrachage) ou manuelles (arrachage).
C'est particulièrement le cas des deux espèces de jussies envahissantes en métropole, plantes amphibies très prolifiques présentant de grandes capacités d'adaptation à de nombreux types de biotopes. Leur biomasse fait l'objet d'arrachages et constitue de fait une des principales contraintes des interventions de régulation : un "objet" à arracher, à transporter éventuellement, à recycler enfin. Les recherches menées depuis quelques années sur cette capacité de production de biomasse et sur les caractéristiques écologiques des sites concernés (Dutartre *et al.*, 2007 ; Lambert, 2009) permettent de préciser les conditions de cette production et par là même d'évaluer les besoins techniques nécessaires à cette régulation.

LES JUSSIES

ELEMENTS DE BOTANIQUE

En métropole, deux taxons du genre *Ludwigia*, originaires d'Amérique, genre qui compte 82 espèces, ont colonisé divers types de milieux aquatiques d'eau douce sur une grande partie du territoire. Leur détermination a toujours été relativement complexe, donnant lieu à des remaniements taxonomiques fréquents et une synonymie toujours compliquée. Il semble d'ailleurs que les difficultés de détermination ne soient pas résolues dans tous les cas. Les recherches de Dandelot (2004) lors de sa thèse ont permis de préciser les noms des deux espèces envahissantes à nombres chromosomiques distincts: *Ludwigia peploides* (Kunth) Raven subsp. *montevidensis* (Spreng.) Raven (1963), (diploïde :2n = 16) et *Ludwigia grandiflora* (Michx.) Greuter & Burdet (1987) subsp. *hexapetala* (Hook. & Arn.) Nesom & Kartesz (2000), (décaploïde :2n = 80).

HISTORIQUE DE L'INTRODUCTION

Elles ont été observées pour la première fois en milieu naturel en France au début du XIXème siècle dans la rivière le Lez, à Montpellier. Auparavant, il semble que ces plantes se trouvaient dans de nombreux jardins botaniques et ornaient des bassins d'ornements (Dandelot, 2004). Les circonstances de leur introduction ne sont pas totalement élucidées mais elles se sont ensuite étendues à la plupart des réseaux hydrographiques du Midi méditerranéen de la France. A la fin du XIXème siècle, des populations de *Ludwigia* spp. ont été signalées dans le sud-ouest : d'abord à Bayonne en 1883 (Guillaud, 1883, in Dandelot, 2004) puis à Bordeaux, en 1919 (Berner, 1971, in Dandelot, 2004).

REPARTITION GEOGRAPHIQUE

L. peploides est répandue en Amérique du Sud (Chili, Uruguay, Argentine, Brésil), Etats-Unis (Californie), dans l'est de l'Australie et en Nouvelle-Zélande. *L. grandiflora* est originaire d'Amérique (sud-est des Etats-Unis, Cuba, Paraguay, Uruguay, Argentine) (Dandelot, 2004).
Les deux espèces sont présentes dans le sud et l'ouest de la France, dans les bassins versants de l'Adour, la Garonne, la Charente, la Sèvre Niortaise, la Loire, le Rhône, la Vilaine, la Somme,

ainsi que dans des régions d'étangs telles que la Brenne, la Sologne, le Forez, …Elles sont aussi installées de manière plus disséminée dans d'autres régions de France, comme en Normandie ou en Alsace (Ancrenaz & Dutartre, 2002 ; Dandelot, 2004).
Depuis une trentaine d'années, les deux espèces ont fortement progressé vers le nord de la France et au-delà puisqu'elles ont également été observées en Belgique et en Grande-Bretagne, où elles sont considérées comme envahissantes et où des travaux de régulation viennent de débuter, ainsi qu'en Espagne, en Suisse et aux Pays-Bas.

ELEMENTS DE BIOLOGIE ET D'ECOLOGIE

Les deux espèces présentent une très grande variabilité morphologique selon les conditions abiotiques des biotopes où elles sont installées. Dimensions des tiges et des feuilles, colonisation en pleine eau ou sur les berges, système racinaire dense à la base des tiges mais aussi forte présence de racines adventives sont parmi les descripteurs les plus évidents de ces capacités d'adaptation.
Elles ont été observées dans une gamme de niveau, par rapport au niveau moyen des eaux, entre – 3 m et + 0,8 m : les situations extrêmes leur sont peu favorables mais les niveaux moyens entre - 0,7 et + 0,2 m, environ, sont ceux qui leur permettent les plus grands développements.
Au cours de leur développement en milieu aquatique, elles présentent une forme submergée, puis des rosettes flottantes. Il y a d'abord agrégation des rosettes, puis des tiges se dressent au dessus de l'eau (Le Tréis, 2003, Coudreuse *et al.*, 2005b).
Schématiquement, les jussies peuvent se développer sous 3 formes distinctes (Prost, 2003 ; Suaudeau, 2005) :

- une forme prostrée, souvent observée dans des conditions environnementales défavorables,
- une forme couchée-flottante présente durant les premières phases de développement des individus au printemps dans la plupart des sites ou lorsque les plantes peuvent s'étendre sur les eaux en l'absence de courant,
- une forme érigée correspondant à la maturité des individus et à des conditions écologiques favorables ou dans des biotopes peu profonds, voire en situation émergée lorsque la densité des individus les oblige à rechercher la lumière vers le haut.

Les tiges sont noueuses, plus ou moins ligneuses en fonction de leur élévation hors de l'eau, souvent très ramifiées ; elles peuvent dépasser en longueur cumulée (tiges et ramifications) plusieurs dizaines de mètres. Leur enchevêtrement en bordure des eaux crée des radeaux végétaux flottants très denses couvrant totalement les eaux.
Un avantage compétitif important de ces deux espèces est leur importante capacité de reproductions végétative et sexuée : un fragment de tige de quelques centimètres de longueur comportant un nœud est une bouture potentiellement viable; les productions de graines dont une grande partie est susceptible de germination peuvent dépasser 30 000 graines /m² (Ruaux, 2008).

NUISANCES CAUSEES PAR LES JUSSIES ET TECHNIQUES DE GESTION MISES EN OEUVRE

La plupart des nuisances occasionnées par les jussies sont directement liées à leur production de biomasse. Certains biotopes peuvent être complètement occupés par des masses de tiges feuillées : zones littorales de plans d'eau totalement couvertes, sections mouillées de fossés, canaux et petits cours d'eau entièrement envahis, etc.
Ces nuisances sont diverses et variables selon les biotopes concernés. Elles peuvent être :

- des modifications des caractéristiques physico-chimiques des eaux (cycles d'oxygène et de pH très perturbés, augmentation des teneurs en matières organiques et en nutriments, particulièrement dans les milieux stagnants),
- une accélération des processus de comblement organique des zones humides,
- la réduction des capacités d'évacuation des crues, principalement en automne, dans les cours d'eau,
- des régressions importantes des communautés végétales présentes (compétition pour la lumière avec les espèces immergées, compétition pour les nutriments), ayant des

répercussions directes sur les communautés animales (suite à la banalisation des habitats).

Les développements des jussies menacent notamment certaines communautés végétales d'intérêt patrimonial présentes dans des habitats d'intérêt communautaire (Suaudeau, 2005). Une analyse des données de répartition des jussies montre que ces menaces touchent aussi bien les rivières et leurs annexes fluviales que les marais et plans d'eau et concernent au moins une douzaine de ces habitats d'intérêt communautaires et trois grands types d'habitats humides (les végétations aquatiques du *Nymphaeion albae*, les végétations marécageuses et frangeantes à grands hélophytes et les végétations prairiales ou les bois humides inondables) largement répandus sur le territoire (Dutartre et al., 2007).

Ces nuisances concernent aussi tous les usages des milieux colonisés : gênes pour les déplacements des embarcations, contraintes pour les usages traditionnels et touristiques tels que pêche, chasse au gibier d'eau, baignade, etc. Ces gênes pour les usages sont d'ailleurs en général le facteur de déclenchement des interventions de régulation.

Les techniques régulièrement utilisées depuis une trentaine d'années pour réguler les colonisations des jussies (voir par exemple, Dutartre, 2002, 2004 ; Legrand, 2002 ; Matrat *et al.*, 2006) sont des arrachages mécaniques et manuels permettant de retirer la biomasse présente et des applications d'herbicides ; cette dernière technique n'est plus autorisée depuis fin septembre 2009. Des travaux de curages et de dragages ont également été réalisés dans des sites où les dépôts sédimentaires étaient cause de nuisances. Enfin, des expérimentations diverses comme des bâchages ou des traitements thermiques ont permis d'en préciser les limites de mise en œuvre.

LES BIOTOPES COLONISES

Ces plantes, très ubiquistes, colonisent de préférence les milieux stagnants ou à faible courant, peu profonds et ensoleillés, mais leur importante capacité d'adaptation leur permet de s'installer dans des biotopes moins favorables, relativement pauvres en nutriments par exemple.

Le tableau 1 présente les données recueillies sur la typologie des sites colonisés en métropole par les deux espèces (sans distinction taxinomique) sur un total de 567 sites recensés. Cours d'eau, zones humides, plans d'eau : ce sont des milieux extrêmement divers à la fois par leurs fonctionnalités et leurs dimensions.

Tableau I : Typologie des sites colonisés par les jussies (Dutartre *et al.*, 2007)

Type de site	**%**
Plans d'eau artificiels (étangs, gravières)	8,3
Plans d'eau naturels	16,7
Cours d'eau (fleuves, rivières, ruisseaux)	31,2
Annexes hydrauliques de cours d'eau	10,8
Canaux	14,3
Fossés et réseaux de fossés	6,2
Zones humides permanentes ou temporaires	7,9
Prairies humides	4,1
Divers (sources, déversoirs de plans d'eau, etc.)	0,5

Les prairies humides sont un des types de milieux récemment colonisés dans l'ouest de la France. Les premières observations datent d'environ 5 à 7 ans et l'extension des jussies dans certains de ces sites, comme les Barthes de l'Adour ou la vallée de l'Erdre, pose de nouvelles difficultés de gestion.

PRODUCTION DE BIOMASSE

Toujours exprimée en grammes de matière sèche (MS) par mètre carré, elle est évidemment très variable selon les sites. Quelques données de biomasse sont disponibles dans la littérature internationale (in Dutartre *et al*., 2007). Par exemple, Yen & Myerscough (1989 in Dutartre *et al*., 2007) indiquent des valeurs de 15 à 180 g dans des cours d'eau temporaires en Australie et des canaux de drainage en Californie abritaient des biomasses de *L. peploides* de 500 à 700 g (Rejmankova, 1992 in Dutartre *et al*., 2007). Dans des tests en conditions contrôlées, cet auteur précisait d'ailleurs que la biomasse maximale produite était de l'ordre de 2 000 g.

Des données non publiées, obtenues en métropole entre 1997 et 1999, varient de 400 à 2 000 g : 400 à 600 g dans un plan d'eau peu profond de la Réserve Naturelle de Bruges (Denis Cheyrou, conservateur RN Bruges, communication personnelle), de 1000 à 1800 g sur des plans d'eau des Landes (données Cemagref non publiées), 1 100 à 2 000 g dans le Marais Poitevin (Nicolas Pipet IIBSN, communication personnelle).

Sur des sites de la Durance, les travaux de Dandelot (2004) donnent des valeurs de biomasse de *L. peploides* de 1 600 g à 3 000 g. Le même auteur a mesuré une biomasse proche de 7 kg dans un habitat très favorable de la rivière Siagne en octobre 2003 : il s'agit de la plus importante biomasse dont nous ayons connaissance.

Les données acquises dans le cadre du projet " *Les jussies : caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines. Implications pour la gestion*" (2003 – 2006) dans le cadre du programme INVABIO du ministère chargé de l'écologie montrent également une grande gamme de valeurs. Au cours de ce travail, les prélèvements de biomasse ont été réalisés selon un protocole commun comportant un échantillonnage sur 3 à 5 placettes de 0,25 m² non contigües, situées au sein d'herbiers homogènes, permettant de calculer une moyenne et un écart type.

Par exemple, les mesures de Pellotté (2003) sur différents sites en Aquitaine présentaient une gamme de valeurs d'environ 500 g à 3 500 g. La biomasse la plus faible était celle d'une station située en bordure de cours d'eau, où les herbiers de jussies étaient soumis à des vitesses de courant relativement régulières ne dépassant toutefois pas 0,4 m/s. Les autres valeurs, correspondant toutes à des stations en plans d'eau, s'étalaient d'environ 1 000 g à 3 500 g.

Les mesures réalisées dans les différents sites des étangs d'Apigné proches de Rennes (Coudreuse *et al*., 2005 a et b) montrent également des valeurs très variables selon les sites, dont un où la présence d'une autre espèce exotique envahissante, *Paspalum distichum*, réduit fortement la biomasse des jussies : c'est ainsi que dans les zones fortement colonisées par cette autre espèce la biomasse de jussie est de l'ordre de 200 g alors qu'elle peut atteindre près de 2 800 g lorsque la jussie domine.

Dans le marais de Gannedel, situé au sud de Rennes, les mesures de biomasses réalisées dans deux zones différentes donnaient des valeurs relativement proches de 1 000 g (Ruaux, 2004 ; Haury *et al.*, 2007).

Les "boires" (bras morts) de la Loire sont des sites assez favorables aux jussies : les travaux de Prost (2003) et Suaudeau (2005) sur les boires des Groseilliers et du Râteau (Maine-et-Loire) donnaient des valeurs de 1 200 g à 4 980 g.

Enfin, rappelons que sur un même site ces valeurs peuvent être très différentes d'une année à l'autre. Par exemple, dans un site du Marais d'Orx (Landes), les biomasses mesurées étaient respectivement d'environ 2 000 g et 3 500 g MS en 1998 (Saint Macary ,1998) et en 1999 (Charbonnier, 1999 in Dutartre et al., 2007) ou sur la boire du Râteau, d'environ 1 700 g en 2003 et 2600 g en 2004 (Prost, 2003 ; Suaudeau, 2005).

RELATIONS ENTRE CARACTERISTIQUES DES SITES ET PRODUCTION DE BIOMASSE

Les données disponibles sur certains sites permettant de préciser ces relations, dont les modalités de colonisation, constituent une base utile pour envisager une approche prédictive

des processus en cours et tenter d'élaborer un modèle de production de biomasse qui pourrait être utilisé par les gestionnaires dans la programmation de leurs interventions.

SITES

Ces sites sont des stations d'étude sur des cours d'eau (le secteur aval du Don, en Loire-Atlantique, la Sèvre Niortaise dans la zone des marais mouillés du Marais Poitevin, Deux-Sèvres), des bras morts de cours d'eau (les boires du Râteau et des Groseilliers en Maine-et-Loire) et des plans d'eau, les étangs d'Apigné (Ille-et-Vilaine) et l'étang de Léon (Landes).

Basse Vallée du Don (Loire-Atlantique)

Cette rivière, affluent de la Vilaine, appartient au domaine public fluvial. Le secteur d'étude est situé à proximité de la confluence entre le Don et la Vilaine (Rakotondrasoa, 2007). Les biotopes ensoleillés de la rivière ou des prairies voisines présentent un substrat composé d'alluvions. La colonisation du site par *L. grandiflora* date de 1996 et les recouvrements de certaines parties du cours atteignaient 100 % dès 2002 (Abellard *et al.*, 2001 ; Cousin, 2001). Lors du suivi des populations en 2003 – 2004, les jussies couvraient quelques 6 km en remontant depuis la confluence avec la Vilaine (Coudreuse *et al.*, 2005 a). Aux jussies se mêlaient d'autres espèces envahissantes telles *Egeria densa* Planch. et *Elodea nuttalii* (Planch.) H. St.John. (Syndicat Intercommunal d'Aménagement du bassin Versant du Don, 2002, 2006 a et b).

Marais Poitevin (Deux Sèvres)

D'une superficie totale de 96 000 ha, le Marais Poitevin comprend 15 000 ha de zone dite "des Marais Mouillés" entre Niort et la Baie de l'Aiguillon. Réseau hydraulique quasi-stagnant en été, cette partie du Marais Poitevin est très favorable aux jussies dont les premières observations (*L. peploides*) dans le site datent de 1991. Depuis cette période, l'extension de l'espèce a continué sur ce réseau. Elle est présente actuellement sur environ 1000 km de rives, colonisant les voies d'eau les plus larges depuis les rives et, en l'absence de travaux de régulation, couvrant totalement les chenaux et fossés de plus faible largeur (Pipet, 2007 ; Dutartre *et al.*, 2008).

La Boire des Groseilliers (Maine-et-Loire) :

Annexe hydraulique, elle se situe sur la commune de Saint-Rémy-la-Varenne en rive gauche de la Loire. Cette boire de 770 m de long sur 10 à 45 m de large environ, bénéficie d'un très bon ensoleillement, bien qu'elle soit bordée par des ripisylves. Inondée de novembre à mai en fonction des niveaux de la Loire, elle est reliée au fleuve par une connexion longue et étroite à l'aval. Sur sa rive nord boisée, les pentes sont assez douces alors que sur la rive sud les berges enherbées sont plus abruptes. Elle est colonisée depuis plusieurs années par *L. peploides* avec un recouvrement de l'ordre de 95 %. Ses eaux sont relativement riches en nutriments et en matières organiques.

Boire du Râteau (Maine-et-Loire)

Localisée en rive droite de la Loire sur la commune de St-Mathurin-sur-Loire, cette boire de 0,28 ha est un petit chenal de 125 m de long et de 5 à 20 m de large. Sa surface restreinte et son exutoire très court, font qu'elle est soumise à des courants importants lorsqu'elle est en connexion avec le fleuve, mais les baisses de niveaux de la Loire peuvent conduire à une déconnexion dès le mois d'avril. Ses eaux sont relativement riches en nutriments et ses sédiments comportent environ 11 % de matières organiques. Malgré les ripisylves bordant la rive sud et une portion de la rive nord, la boire est ensoleillée. Les deux espèces de jussies sont en mélange (*L. peploides* 10 % environ, *L. grandiflora* 90 % environ).

Etangs d'Apigné (Ille-et-Vilaine)

Le site des étangs des landes d'Apigné est un ensemble de cinq plans d'eau dont quatre sont la propriété de la ville de Rennes, aménagés en base de loisir et de détente ; ils sont fréquentés toute l'année. *L. grandiflora* est présente sur tous ces étangs en quantité très importante avec parfois d'autres espèces envahissantes comme *Paspalum distichum* L. et *Myriophyllum*

aquaticum (Vell.) Verdc, ainsi que *Lemna minuta* Kunth. La colonisation par les jussies est importante sur trois étangs (intitulés A, B, et C). Sur l'étang A, une anse (A0), à l'abri du vent, est totalement envahie par la jussie; une zone exposée (A1) correspond à une colonisation par la seule jussie, et une zone relativement protégée (A2) est colonisée également par du paspale (A2). L'étang B est essentiellement recouvert par la jussie et l'étang C est aussi colonisé par le myriophylle du Brésil. Des curages ont été effectués en 2002, partiellement dans l'étang C, totalement pour l'étang B (Crouzil *et al.*, 2004 ; Coudreuse *et al.*, 2005 b), mais une recolonisation totale, voire plus importante a été observée en quelques mois après travaux.

Etang de Léon (Landes)

Localisé sur les communes de Léon et Vielle St Girons, cet étang de 340 ha dont la profondeur moyenne est de 0,7 m et la profondeur maximale de 2,3 m, comprend 2 types de biotopes colonisés par les jussies : des zones riveraines de profondeur inférieure ou égale à 0,5 m, protégées des vagues et des zones de pleine eau dont la profondeur est comprise entre 0,9 et 1,1 m, soumises aux vagues. L'ensemble de l'étang, très ensoleillé n'est pas soumis à un courant mais peut présenter des vagues pouvant dépasser 20 à 30 cm de hauteur en cas de fort vent, même en été. Cet étang est colonisé depuis 1988 par *L. grandiflora* qui présente des recouvrements variables sur près de deux tiers de ses rives.

RESULTATS ET COMMENTAIRES

Le tableau II présente les caractéristiques et les biomasses produites dans ces différents sites. Les données affichées sont les valeurs moyennes des mesures de biomasse réalisées sur les sites en période de développement maximal et sur des herbiers denses, ce qui est préférable à un travail basé sur les valeurs extrêmes précitées. Il s'agit de la biomasse totale cumulant les parties "aériennes" ou aquatiques et les parties "souterraines". Dans la suite du texte, les données sont indiquées "g", ce qui correspond à g MS/m². Les écarts types des mesures sont relativement variables mais ne dépassent généralement pas 15 à 20 % de la moyenne lorsque les herbiers dans lesquels les échantillons sont prélevés sont homogènes.

Tableau II : Caractéristiques et production de biomasse moyenne des différents sites (espèces : *Lg* = *L. grandiflora*, *Lp* = *L. peploides*, Pd = *Paspalum distichum*, Ma = *Myriophyllum aquaticum*) lors du développement maximal des jussies.

Site	**Espèce**	**Dynamique des eaux**	**Pentes des fonds**	**Sédiment ou sol**	**Niveau d'eau moyen (cm)**	**Biomasses g MS/m^2**
Rivière Don	*Lg*	Faible courant, vagues	variables	Organique	80	4 300
Don Prairies inondables	*Lg*	Stagnant / Exondé	nulles	Organique	Sols humides	1 250
Don, Annexes hydrauliques	*Lg*	Stagnant	variables	Organique	Vases humides	1 600
Marais Poitevin	*Lp*	Faible courant	fortes	Organique	0 -50	2 000
Etang d'Apigné A1 (dominance Lg)	*Lg*	Stagnant, vagues	douces	Graviers	30	320
Etang d'Apigné A2 (dominance Pd)	*Lg*	Stagnant, vagues	douces	Sable + cailloux	20	215
Etang d'Apigné A0 (anse)	*Lg*	Stagnant, Protégé du vent	douces	Organique	50	2 190
Etang d'Apigné B (dominance Lg)	*Lg*	Stagnant, protégé du vent	fortes	Organique et graviers	60	2 290
Etang d'Apigné C (dominance Ma)	*Lg*	Stagnant protégé du vent	fortes	Organique	50	670
Boire des Groseilliers	*Lp*	Stagnant	variables	Organique	Vases humides	4 220
Boire du Râteau	*Lp + Lg*	Stagnant	variables	Organique	0 -10	2890
Etang de Léon	*Lg*	Stagnant, protégé du vent	douces	Organique	0 -50	3 500
Etang de Léon	*Lg*	Stagnant, vagues		Sableux	100	500

La dynamique des eaux indiquée est celle qui prévaut lors de la réalisation des prélèvements. Le niveau d'eau est celui de la période de réalisation des prélèvements et ne préjuge donc pas de son évolution antérieure et postérieure.

Basse Vallée du Don

Les biomasses mesurées dans les 3 types de biotopes du site sont relativement différentes puisque l'on passe d'environ 1 250 g dans les prairies à près de 4 300 g dans le lit du Don : dans le secteur étudié le cours d'eau présente un faible courant en période estivale, de plus son lit est relativement envasé avec des sédiments organiques, facteurs qui favorisent le développement des jussies.

Marais Poitevin

Les biomasses mesurées varient entre 1 200 et 2 000 g. Les herbiers colonisent le lit depuis les berges en s'étalant sur les eaux, faute de courant permanent en été. Les biomasses maximales par m² sont à proximité des rives à des profondeurs généralement inférieures à 50 cm. En l'absence d'interventions d'arrachage, les herbiers se densifient dans cette zone et s'étalent ensuite par enracinements successifs vers le large.

Etangs d'Apigné

Une des particularités de ce site est la compétition observée entre *L. grandiflora* et *P. distichum* et *M. aquaticum*. *L. grandiflora* est apparemment dominée dans deux des stations (A2 et C) et sa production de biomasse moyenne reste inférieure à 700 g. Dans les trois autres stations où elle se développe sans compétiteur, la nature des substrats et l'exposition semblent fortement influencer la biomasse puisque les valeurs moyennes sur des sédiments graveleux sont de sont de 320 g et sur sédiments organiques de 2 190 et 2 290 g.

Boire des Groseilliers

Le site est colonisé dès le mois d'avril et durant toute la saison estivale par un peuplement quasiment monospécifique de *L. peploides* sur environ 2 ha. La boire s'assèche à partir de fin mai et les prélèvements ont été réalisés sur des secteurs de vases organiques humides. Les biomasses moyennes mesurées sont élevées (supérieures à 4 200 g). La proportion de biomasse souterraine est très variable selon les années. Elle est d'environ 48 % en 2003 et 73 à 80 % en 2005 : ces dernières valeurs sont particulièrement élevées et pourraient correspondre à l'extension progressive des systèmes racinaires de l'espèce, corrélative à l'augmentation de la biomasse totale mesurée lors de ces deux campagnes, soit environ 1 500 g en 2003 et 4 200 g en 2005.

Boire du Râteau

La particularité de ce site est qu'il abrite les deux espèces de jussies avec une très large dominance de *L. grandiflora*. Les mesures ont été réalisées en 2004 et 2005 sur une zone en mélange des deux espèces et une zone colonisée seulement par *L. grandiflora*. Dans les deux cas, la biomasse de *L. grandiflora* seule est supérieure, soit 2 660 g contre 2 250 g en 2004 et 3 270 g contre 2 500 g en 2005. Des observations similaires sur d'autres peuplements mélangés ont aussi été faites sur des sites de la Loire (Ruaux 2008).
Bien que moins évidente, la remarque concernant l'évolution de la biomasse souterraine pour le précédent site s'applique également à cette boire : équivalente à 35 % de la biomasse totale mesurée en 2003, elle atteint 52 % en 2005.

Etang de Léon

Les deux stations étudiées dans ce site sont très différentes : la première se trouve dans une zone très protégée des vents sur des sédiments très organiques, la seconde dans une partie de l'étang aux substrats sableux soumise aux vents d'ouest dominants où peuvent se former des vagues pouvant dépasser 20 à 30 cm de hauteur. De plus, la seconde station présente une

profondeur moyenne de l'ordre de 1 m. Ces caractéristiques expliquent les différences de biomasse mesurées.

DISCUSSION

Le tableau III présente une synthèse des paramètres déterminants la production de biomasse des deux espèces de jussies.
La typologie des sites colonisés en métropole et les gammes de valeurs de biomasse disponibles permettent d'évaluer les potentialités de production de matière que les travaux doivent évacuer des sites.

Tableau III : Paramètres déterminants la production de biomasse des jussies

Paramètres	Processus	Seuils ou mode d'influence	Gamme de biomasse	Commentaires
Lumière	Photosynthèse	Un mi-ombrage réduit fortement la biomasse.	Nulle à maximale	Ombrage à utiliser comme limitation naturelle des développements de jussies lorsque la zone colonisée est étroite (canaux, bords abrupts d'étangs)
Profondeur	Enracinement, capacité de production et productivité	En situation immergée, les plantes doivent d'abord gagner la surface pour être efficaces dans leur production de biomasse. Sur terre, la disponibilité en eau dans les sols est facteur limitant de la production.	Biomasses maximales supérieures à 3 000 g à des profondeurs inférieures à 0,5 m ou dans des stations à assec estival progressif	Sans lien direct avec la lumière : caractère amphibie des jussies. La forte pente des berges limite l'étendue des zones d'ancrage.
Mouvements des eaux	Courant, vagues	Les mouvements des eaux influent sur l'allocation de biomasse en favorisant le développement des systèmes racinaires.	Dans des biotopes en cours d'eau faiblement courant ou en plans d'eau soumis au batillage, ne dépasse pas 500 g.	La conjonction entre l'augmentation de la profondeur et les mouvements des eaux est un facteur de limitation important.
Substrats (texture, teneurs en matière organique et en nutriments)	Enracinement. Désoxygénation si trop de matières organiques. Disponibilité des nutriments dans les eaux interstitielles	Facilité d'enracinement et développement des organes souterrains; Développement des racines aérifères	300 – 500 g sur substrat uniquement minéral Plusieurs kilogrammes sur substrats organiques riches en nutriments	La plante est viable même sur des substrats pauvres en nutriments. En fonction de la nature du substrat, arrachage plus ou moins facile
Nutriments dans les eaux	Disponibilité. Absorption par les racines adventives	Les teneurs en nutriments des eaux ne sont pas limitantes	Corrélation entre teneurs en nutriments des eaux et biomasses produites difficile à établir	La part relative de la nutrition depuis les sédiments (sans doute majoritaire) et les eaux reste à préciser.
Présence d'autres végétaux	Compétition	Vitesses de croissance comparées. Densité et hauteur des compétiteurs	Très faibles biomasses dans les Glycériaies et Phragmitaies	Changements morphologiques et "stratégies d'attente"
Déprédateurs animaux	Consommation	Cooccurrence dans les sites et densité d'animaux (Ecrevisse, Ragondin, Altise, …)	Localement, quasi annulation des biomasses (Brière)	Les cas de déprédation significative sont rares
Climat printanier et estival	Déclenchement et intensité de la production	Au printemps : décalage du démarrage de la production de biomasse. En été et automne : maintien ou non de la productivité	Valeurs moyennes ne dépassant pas 2 000 g	Des écarts d'environ un mois ont pu être observés dans les pics de production de biomasse sur un même site.

Selon les biotopes, les paramètres listés peuvent agir seuls ou combinés devenant, selon leurs combinaisons, tour à tour les facteurs limitant de cette production. C'est ainsi qu'un ombrage trop important, dépassant les 50 % de lumière incidente empêche le développement d'herbiers

denses, voire même, à l'extrême, élimine totalement les jussies au fur et à mesure que leurs besoins de lumière sont moins satisfaits.
La profondeur n'est pas en lien direct avec la lumière incidente comme c'est le cas pour les plantes immergées : au début de leur développement les tiges qui partent du fond depuis des zones antérieurement colonisées extraient les nutriments indispensables à leur croissance dans les réserves accumulées dans les réseaux de tiges subsistant d'une année à l'autre. Cela leur permet de gagner la surface pour, dans un premier temps, développer des rosettes de feuilles, puis ensuite, en fonction de la densité des tiges et de la vitesse de courant, soit s'étaler en surface en créant des ramifications, soit s'élever au dessus des eaux pour y rechercher la lumière nécessaire.
Malgré la relative solidité de leurs tiges, les jussies sont sensibles aux mouvements des eaux, particulièrement en début de développement. Courant régulier, même peu élevé, ou batillage suffisent à réduire fortement la production de biomasse. Une des stations étudiées par Pelotté (2003) était constituée de mares partiellement ouvertes sur un plan d'eau, ne subissant de ce fait qu'une partie très réduite du batillage : la biomasse mesurée dans ce site ne dépassait pourtant pas 1 000 g.
La disponibilité des nutriments dans les eaux et les sédiments est évidemment un des facteurs important de toute production primaire : malgré leur capacité à puiser ces nutriments directement dans les eaux où ils ne sont généralement pas limitant du fait de l'eutrophisation généralisée des milieux étudiés, les jussies produisent peu de biomasse sur des substrats peu organiques : les valeurs mesurées ne dépassent pas 500 g. Toutefois, les plantes qui se développent sur ces types de substrats sont tout à fait viables et aptes à coloniser des biotopes plus favorables dans les mêmes milieux.
Par ailleurs, les conditions climatiques du printemps et de l'été (températures et durée d'insolation) jouent également un rôle important dans cette production, diverses observations ponctuelles le confirment : il reste néanmoins à valider ces observations, ce qui supposerait des suivis des températures de l'air et de l'eau sur plusieurs années en relation avec la phénologie des jussies. La productivité des jussies est donc très dépendante des conditions de température et de lumière.
Enfin, les conditions biotiques ne sont pas à négliger, même si elles sont difficiles à appréhender, comme l'ont montré les études sur les étangs d'Apigné et le marais de Gannedel. En Brière, des observations répétées de déprédation des jussies par le ragondin, et plus encore par l'écrevisse de Louisiane, se sont traduites par de très fortes réductions des biomasses (Jean-Patrice Damien, PNR de Brière, communication personnelle), sans qu'il ait encore été possible de quantifier le phénomène.

Les influences combinées de ces différents paramètres sont également perceptibles. Par exemple les travaux de Charbonnier (1999) et de Pelotté (2003) montraient une assez forte relation entre la productivité des jussies, les mouvements des eaux et les températures. Les temps de doublement de biomasses mesurés dans les cours d'eau étaient généralement élevés (60 à 90 jours) alors que dans les plans d'eau, ces temps de doublement étaient nettement plus courts (15 à 20 jours) et encore plus réduits pour les mêmes plantes prélevées dans ces divers sites et installées sous serre en conditions contrôlées, soit 11 à 17 jours.

CONCLUSION

De nombreuses recherches sont encore nécessaires pour préciser les relations entre facteurs environnementaux et production de biomasse. Les ordres de grandeurs fournis ici peuvent être considérés comme des indications à faire valider par des investigations complémentaires.
Par ailleurs, les travaux de l'équipe de Rennes (Barreau *et al*., 2005 ; Boyer *et al*., 2003 ; Crouzil *et al*., 2004) ont par exemple permis de proposer des relations suivantes entre recouvrement et biomasse pour deux sites, respectivement pour :

- les étangs d'Apigné en 2004 : Biomasse de Jussie = 16,778 e 3.261 (Recouvrement de Jussie)
- le marais de Gannedel (situé sur la Vilaine au sud-ouest de Rennes en 2003 :

$$\text{Biomasse de Jussie} = 5{,}03\ e^{0.0355\ (\text{Recouvrement de Jussie})}.$$

Les informations issues de ces recherches sont d'un grand intérêt pour les gestionnaires car elles peuvent faciliter l'évaluation des quantités de matières à extraire des sites où des interventions sont nécessaires. L'utilisation de ces données exprimées en matières sèches ne peut en revanche être faite directement car les matières extraites lors des travaux sont humides et, de plus, mélangées à des quantités variables de sédiments selon le matériel utilisé. Les teneurs en eau des jussies sont aux alentours de 80 %, mais peuvent également varier selon les sites et la conformation des plantes (de 79 à 84 % sur la basse vallée du Don par exemple).

Les corrélations entre les types de biotopes et leurs caractéristiques, les capacités de production de biomasse des deux espèces et les quantités de plantes effectivement extraites des sites sont encore à examiner plus précisément.
Enfin, comme les mesures de biomasse restent du domaine de la recherche et que les quantités extraites sont souvent évaluées par les gestionnaires en tonnage ou en volume, il restera à proposer des ordres de grandeur des relations de ces quantités extraites en fonction des sites.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Roland MATRAT (DREAL Pays-de-la-Loire), Brigitte RUAUX (Université de Tours) et Nicolas PIPET (IISBN), ainsi que les étudiants qui ont participé à la collecte des données. Le programme INVABIO a été financé par le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable.

BIBLIOGRAPHIE

Abéllard C., Causse G., Deléglise A., Pétrucci L., Piedvache C., Podeur C., Revérêt N., Violle C., 2001. La Jussie dans la basse vallée du Don : gestion intégrée et analyse des proliférations. Atelier thématique Génie de l'Environnement, ENSAR, (Partenaire : Syndicat du Don) : 36p.

Ancrenaz K., Dutartre A., 2002. Cartographie des Jussies *(Ludwigia spp)* en France métropolitaine. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux, étude n° 73, Département Gestion des Milieux Aquatiques : 18 p.

Barreau M., Delcourt V., Faine L., Lambrechts A. 2005. Evolution de la prolifération de *Ludwigia hexapetala* sur les étangs d'Apigné : conséquences sur le plan de gestion. Atelier thématique Génie de l'Environnement, Agrocampus Rennes : 30 p. + ann.

Boyer C., Dupaix A., Joly J.-J., Maurer N., Soucemarianadin L., 2003. Quantification de la Jussie et analyse des problèmes de gestions sous contrainte de modification sur le Marais de Gannedel. Atelier thématique Génie de l'Environnement ENSAR, Rennes : 40 p. + 39 p. ann.

Coudreuse J., Haury J., Dutartre A., Debril J., Ruaux B., 2005 (a). Caractérisation de la colonisation par la Jussie (*Ludwigia grandiflora* ssp. *hexapetal*a) 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 : 101 p.

Coudreuse J., Haury J., Le Tréis M., Ruaux B., 2005 (b). Suivi de l'évolution de jussies (*Ludwigia hexapetala* et *L. peploides*) soumises à des enlèvements sur l'Erdre, le Don et la Mandine (2003-2004). Agrocampus Rennes & DIREN Pays-de-la-Loire, Nantes : 31 p.

Cousin C., 2001. Etat des lieux et diagnostic sur le Don, la Jussie. S.I.A.B.V. du Don, Nozay : 25 p.

Crouzil E., Gasc D., Goetschel F., Le Féon V., Mayeras f., Millot A.-I., Monroux J., Payet N., Vincent C., 2004. Etude quantitative de la colonisation par la Jussie (*Ludwigia hexatepala*)

des étangs d'Apigné (Rennes). Mém. Atelier Thématique Génie de l'Environnement, Agrocampus Rennes : 104 p. +ann.
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, 207 p.
Dutartre A., 2002. Panorama des modes de gestion des plantes aquatiques : nuisances, usages, techniques et risques induits. Ingénieries N°30, 29-42.
Dutartre A., 2004. De la régulation des plantes aquatiques envahissantes à la gestion des hydrosystèmes. *Ingénieries - E A T*, n°spécial Ingénierie écologique, 87 – 100.
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.
Dutartre A., Peltre M. C., Pipet N., Fournier L., Menozzi M. J. 2008. Régulations des développements de plantes aquatiques. Ingénieries, N° spécial "Plantes aquatiques d'eau douce", 135-154.
Haury J., Rolland D., Coudreuse J., Ballagny C, Planchet L., Urvois G., 2007. Colonisation de la Jussie au sein de la végétation aquatique et palustre du marais de Gannedel - Rapport d'intervention et de suivi 2007. Agrocampus Rennes & Conseil Général d'Iles-et-Vilaine : 33p.
Lambert E., 2009 : Plantes exotiques envahissantes : Synthèse bibliographique. CEREA/UCO/Angers Comité des Pays de la Loire/ Gestion des plantes exotiques envahissantes ; GIS «Macrophytes des Eaux continentales» : 89 p. Ed. DREAL Pays-de-la-Loire (sous presse).
Le Tréis M., 2003. Eléments sur l'écologie de la Jussie et impacts des enlèvements de Jussie en milieu aquatique. Mém. Spécialisation Génie de l'Environnement ENSAR, INH Angers - UMR INRA-ENSAR Ecobiologie et Qualité des Hydrosystèmes Continentaux Rennes & Direction Régionale de l'Environnement des Pays de la Loire Nantes : 82 p. + 18 ann.
Legrand C., 2002. Pour contrôler la prolifération des Jussies (*Ludwigia* spp.) dans les zones humides méditerranéennes. Guide technique, AME : 68 p. (http://www.ame-lr.org/publications/espaces/jussies2002/index.html)
Matrat R., Anras L., Vienne L., Hervochon F., Pineau C., Bastian S., Dutartre A., Haury J., Lambert E., Gilet H., Lacroix P. Maman L., 2006 (2004 1ère éd.). Gestion des plantes exotiques envahissantes – Guide technique. (Comité des Pays de la Loire de gestion des plantes exotiques envahissantes, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Forum des Marais atlantiques, DIREN Pays de la Loire &: Conservatoire régional des rives de la Loire et de ses affluents) - 2ème édition, 2006 ; revue et augmentée : 86 p. (document téléchargeable).
Pelotté F., 2003. Dynamique de développement de *Ludwigia sp.* dans le sud-ouest de la France. Mémoire de DESS Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 25 p. + annexes.
Pipet N. 2007. Maîtrise de la colonisation et de la prolifération des jussies dans le Marais Poitevin. Synthèse. Rapport IIBSN, 14 p.
Prost N., 2003. Etude des caractéristiques de développement et propositions de modalité de gestion de la Jussie (*Ludwigia* ssp.) dans les annexes hydrauliques de la Loire entre les Pont-de-Cé et Montsoreau (49) Programme INVABIO 1 ère année. DESS « Environnement : Sols, Eaux continentales et marines », Universités de Caen et de Rouen. CEREA / UCO – Angers ; Parc Naturel Loire-Anjou-Touraine : 169 p.
Rakotondrasoa H. 2007. Contribution à la gestion des complexes de macrophytes envahissants : *Egeria densa* (Egérie dense), *Ludwigia grandiflora* ssp. *hexapetala* (Jussie) et autres espèces dans la Basse Vallée du Don (44). Etude *in situ* et expérimentation en milieu contrôlé. Mém. Master Pro Ingénierie environnementale, Agrocampus Rennes : 155 p.
Ruaux B., 2004. Etude quantitative de quelques populations de Jussie (*Ludwigia hexapetala*) sur le bassin versant de la Vilaine – Propositions de gestion. Mémoire. DESS Univ. Caen et Rouen Environnement : Sol, Eaux continentales et marines, 139 p.

Ruaux B., 2008. Les plantes envahissantes des corridors fluviaux : traits biologiques, impacts de *Ludwigia peploides* et *L. grandiflora* en Loire moyenne et implications pour la gestion. Université François Rabelais, Tours, thèse de doctorat, 279 p.

Saint-Macary I., 1998. Dynamique de *Ludwigia peploides* au Marais d'Orx. Mémoire de DESS « dynamique des écosystèmes aquatiques», Université de Pau et des Pays de l'Adour ; Syndicat mixte pour la gestion et l'aménagement du Marais d'Orx : 58 p.

Suaudeau K., 2005. Les jussies en Loire moyenne – Développement, répartition, écologie et gestion : l'exemple de la boire des Groseillers (49). (programme INVABIO année 3). Master 2 professionnel « Environnement, Sols, Eaux et Biodiversité » (universités de Rouen et Caen). CEREA/UCO - Angers, PNR Loire Anjou Touraine : 101 p.

Syndicat Intercommunal d'Aménagement du bassin Versant du Don, 2002.- Les actions de lutte contre la Jussie sur le Bassin versant du Don. Programme 2002 : 15 p. + ann.

Syndicat Intercommunal d'Aménagement du bassin Versant du Don, 2006 (a). Contrat Restauration Entretien du don et ses affluents. 2 : Etat des lieux. Document définitif : 11 p.

Syndicat Intercommunal d'Aménagement du bassin Versant du Don, 2006 (b). Contrat Restauration Entretien du Don et ses affluents. Programme d'actions. 3/2 : Coûts estimatifs/Indicateurs. Document définitif. Septembre 2006 : 32 p.