

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <http://www.researchgate.net/publication/284612388>

Programme de recherche Invasions Biologiques. Les jussies: caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines

ARTICLE

CITATION

1

READS

5

6 AUTHORS, INCLUDING:



[Alain Dutartre](#)

RETIRED

45 PUBLICATIONS 194 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Sophie Dandelot](#)

Université Paul Cézanne

6 PUBLICATIONS 94 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Jacques Haury](#)

Agrocampus Ouest

136 PUBLICATIONS 550 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Lambert Elisabeth](#)

Catholic University of the West

26 PUBLICATIONS 22 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Programme de recherche "Invasions Biologiques"

Les jussies : caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines. Implications pour la gestion

Rapport final

Programme 2003 - 2006

Responsable du projet et coordinateur de la rédaction :

Alain Dutartre, Ingénieur de Recherche, Hydrobiologiste, Cemagref, Unité de Recherche
Qualité des Eaux, 50, Avenue de Verdun, 33612 CESTAS CEDEX
Tél. 05 57 89 08 52 ; Fax 05 57 89 08 01, E-Mail : alain.dutartre@bordeaux.cemagref.fr

Co-rédacteurs : Jacques Haury, Sophie Dandelot, Julie Coudreuse,
Brigitte Ruaux, Elisabeth Lambert, Philippe Le Goffe, Marie Jo Menozzi

Participants au projet :

- UMR INRA-ENSAR, Ecobiologie et Qualité des Hydrosystèmes Continentaux, 65, rue de Saint Briec, CS 84215 - 35 042 RENNES Cedex. (Professeur J. HAURY)
- Unité Expérimentale d'Ecologie et Ecotoxicologie INRA - 65, rue de Saint Briec, CS 84215 35 042 RENNES Cedex (D. AZAM),
- Unité propre INRA Economie rurale et Gestion - 65, rue de Saint Briec, CS 84215 - 35 042 RENNES Cedex. (Professeur Ph. LE GOFFE),
- Laboratoire d'Analyse Sociologique (Université Rennes 2) et Ecole Nationale Supérieure du Paysage (Versailles) (Dr M.-J. MENOZZI),
- Centre d'Etude et de Recherche sur les Ecosystèmes Aquatiques (C.E.R.E.A.) – Institut de Recherche Fondamentale et Appliquée – Université Catholique de l'Ouest – 44, rue Rabelais – BP 808 – 49008 ANGERS cedex 01 (Maître de Conférences Dr E. LAMBERT),
- Laboratoire d'Ecologie des Eaux Continentales Méditerranéennes, Université Aix-Marseille 3, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme (case 31), 13397 MARSEILLE CEDEX 20 (Professeur A. CAZAUBON).

Sommaire

Abstract

1. Préambule	1
2. Les deux espèces de jussies	2
3. Histoire et géographie de l'invasion	5
4. Caractérisation des biotopes d'élection	16
5. Traits biologiques	23
6. Compétition	44
7. Impacts sur l'environnement	49
8. Approche ethnobotanique et dimension sociologique de la gestion	51
9. Approche économique	56
10. Gestion des jussies	60
11. Un bilan ?	72
 Bibliographie	 77
 Valorisation des travaux	 81
 Annexes	 88

Abstract

Studies conducted on the biology and ecology of *Ludwigia* have produced stable criteria to discriminate the two species (*Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* and *L. peploides* subsp. *montevidensis*).

Data on geographical distribution of the two taxa and information received at regular intervals indicate that their spread across the territory continues, without it being possible to identify precise "climatic" limits.

The sexual reproduction capacities of the two species were confirmed and the possibility of producing viable plantlets was checked *in situ* and in the laboratory. This mode of reproduction facilitates the spread of *Ludwigia*.

Studies of the colonisation characteristics of *Ludwigia* in different types of habitat highlighted the unfavourable influences of various abiotic or biotic conditions, influencing the architecture of the plants and the way they occupy biotopes.

Evaluation of the biomass produced showed great variability between sites and depending on spring climate conditions.

Ethnobotanical investigations were conducted in different sites in Western France on the representations of *Ludwigia* that have developed among stakeholders faced with the problems created by these plants and the need to regulate colonisations that are deemed excessive. They showed that there are two parallel approaches, one generally among technical or scientific experts, the other among elected office-holders and managers, and bringing the two together to set up operations requires regular negotiations.

These debates on the practical management of a plant have raised many issues regarding the expectations of the different stakeholders in turning to "science" to resolve such a "problem".

In terms of economic evaluations, the empirical approach has collected data on costs from various managers, but the direct generalisation of this data remains somewhat problematic. The theoretical approach has shown that the most effective solution in terms of damage and costs would appear to be a low optimal stock level.

Many transfer activities were set up on the occasion of participations in working groups or various events to disseminate the results of the work conducted on this project.

The aims of the project were explicitly to develop close interaction with the management practices that are already implemented on these species; the investigations conducted within this framework have shown the extreme variability of the situations encountered, both in terms of the ecology of *Ludwigia* and of management needs.

Constantly in relation with the managers, this project has showed the need for ongoing dialogue to shorten, to the extent possible, the gap between the various research fields on the one hand, and management operations on the other: the continuation of this type of approach is probably the best way to achieve the improvements that are required in the management practice applied to our environments.

1. Préambule

L'objectif du présent projet était de tenter de couvrir les trois thèmes de l'appel d'offre Invasions Biologiques afin de proposer une approche intégrée d'une question d'invasion du territoire national par deux taxons appartenant au même genre de plante aquatique.

Dans la mesure où une part notable des participants au projet étaient déjà engagés dans des investigations portant sur les jussies, soit dans des domaines de recherches appliquées à la biologie et l'écologie, soit dans des opérations d'aide à la gestion, il paraissait envisageable de faire porter des efforts sur toutes ces thématiques en y ajoutant des intervenants des sciences humaines et sociales.

C'était un objectif et également un pari car il était déjà connu que les jussies colonisaient des écosystèmes et des biotopes extrêmement variés, ce qui rendait de fait relativement complexe toute approche cherchant à produire des résultats de recherche.

Par ailleurs, ce qui a été proposé dans le texte original du projet était bien une approche transdisciplinaire, se déployant de la biologie à l'économie en passant par l'autoécologie, seule manière adéquate à notre sens de débiter l'analyse d'une invasion biologique. C'est ce qui a été tenté par l'ensemble des participants dans les investigations réalisées durant l'exécution de ce projet.

2. Les deux espèces de jussies

Le terme "jussie" employé dans le projet est aussi la dénomination couramment employée par la plupart des personnes confrontées à un titre ou à un autre à ces plantes, ce qui représente une certaine facilité en matière de communication.

Ce terme recouvre en fait deux espèces différentes du même genre, dont la taxinomie a subi de nombreuses fluctuations au cours des décennies passées. Les investigations menées sur cet aspect taxonomique avaient pour but de stabiliser les dénominations à utiliser pour ces deux espèces, de proposer des critères de différentiation relativement simples à mettre en œuvre sur le terrain malgré l'extrême variabilité morphologique de ces plantes et de tenter d'évaluer l'état actuel de leur expansion en France ainsi que leur dynamique de propagation.

Le genre *Ludwigia* (incluant *Isnardia* et *Jussiaea*) comprend 82 espèces groupées en 23 sections (Zardini & Raven, 1991a). Ce que l'on nomme "Jussie" en France, correspond, en fait, à un large complexe polyploïde (2, 4, 6, 10x) très polymorphe qui englobe les 8 espèces de la section *Oligospermum* presque toutes aptes à s'hybrider (Zardini & al., 1991b). Or, partout dans le monde, leur détermination a toujours été d'une grande complexité, donnant lieu à des remaniements taxonomiques fréquents et une synonymie complexe. Il semble bien que ces difficultés de détermination ne soient pas résolues dans tous les cas : des contacts sur les questions de gestion des jussies avec une fondation californienne consacrée à une zone humide importante dans le comté de Sonoma, la lagune de Santa Rosa, nous ont montré que, malgré la participation de laboratoires universitaires au projet, la détermination de la jussie se développant dans le site n'était pas encore "stabilisée". En effet, des hésitations subsistent encore entre *L. grandiflora* (première détermination), *L. peploides*, voire un hybride ou une nouvelle espèce !

Les premières mises au point sur cette section reposent sur des études cytogénétiques qui révèlent l'existence de 2 espèces diploïdes, 4 tétraploïdes, 1 hexaploïde et 1 décaploïde (Raven & Tai, 1979 ; Zardini & al., 1991b). Ce caractère fondamental sépare donc les 3 taxons morphologiquement les plus proches et régulièrement cités en France (sous divers synonymes) : *L. peploides* (2x), *L. grandiflora* (6x) et *L. hexapetala* (10x). De plus, la confrontation des différents travaux relatifs à ces 3 taxons, tant en Amérique (Munz, 1942 ; Zardini & al., 1991a ; Nesom & Kartesz, 2000) qu'en Europe (Jovet & Bourasseau, 1952 ; Raven, 1963 ; Tutin et al., 1968 ; Guinochet & Vilmorin, 1984) montre de profondes divergences sur le choix des critères distinctifs de détermination (Dandelot, 2004 ; Dandelot et al., 2005).

Notre étude cytogénétique et biosystématique sur une centaine d'individus provenant de 44 populations distinctes montre la présence en France de deux taxons présentant des nombres chromosomiques distincts ($2n = 16$ et $2n = 80$) et l'absence actuelle d'hybrides (Dandelot et al., 2005). La stabilité chromosomique des espèces a facilité nos vérifications, puisque cette section comprend 1 seul décaploïde et 2 espèces diploïdes, l'une à fleurs jaunes et l'autre à fleurs blanches.

La plante diploïde (**$2n = 16$**) correspond à *Ludwigia peploides* (Kunth) Raven *subsp. montevidensis* (Spreng.) Raven (1963) et sont répandues en Amérique du Sud (Chili, Uruguay, Argentine, Brésil), Etats-Unis (Californie), dans l'Est de l'Australie et en Nouvelle-Zélande.

Les décaploïdes (**$2n = 80$**) appartiennent à *Ludwigia grandiflora* (Michx.) Greuter & Burdet (1987) *subsp. hexapetala* (Hook. & Arn.) Nesom & Kartesz (2000) et sont originaires d'Amérique (Sud-Est des Etats-Unis, Cuba, Paraguay, Uruguay, Argentine).

L'examen de nombreux spécimens des deux taxons provenant de différents sites sur le territoire français a permis d'identifier des critères de diagnostic pouvant permettre leur différenciation directe sur le terrain sous réserve de l'emploi d'une loupe. Il s'agit de la forme des stipules et des minifeuilles, qui sont d'ailleurs des critères inédits (Dandelot, 2004), de la longueur des sépales, de la forme des feuilles axillant les fleurs, du nombre de pneumatophores, de la forme des pétales, du diamètre des fleurs et du caractère collant/huileux des tiges.

Ces critères utilisables sur le terrain peuvent être complétés par des vérifications en microscopie optique de la longueur des stomates et des diamètres des grains de pollen.

Clé de détermination pour la France (Dandelot, 2004) :

- Stipules réniformes et minifeuilles glanduleuses ; tiges huileuses collantes ; sépales < 10 mm ; Feuilles axillant les fleurs à limbe oblong à obovale brusquement atténué en pétiole net ; Pneumatophores rares.....***L. peploides* subsp. *montevidensis***
- Stipules oblongues acuminées et minifeuilles rarement glanduleuses ; tiges peu ou pas huileuses ; sépales > 10 mm ; feuilles axillant les fleurs à limbe lancéolé régulièrement atténué en pétiole ; Pneumatophores fréquents..... ***L. grandiflora* subsp. *hexapetala***

Le diamètre des fleurs est un critère utile car celles de *L. peploides* atteignent rarement 4 cm alors que celles de *L. grandiflora* dépassent souvent 5 cm. Un autre critère est l'absence de recouvrement des pétales pour *L. peploides* alors que pour *L. grandiflora*, les pétales peuvent se recouvrir assez nettement.

Enfin, la forme des stipules (petites excroissances foliaires à la base des pétioles des feuilles) permet de les différencier avec beaucoup plus de certitude (Figure 1).

Figure 1 : Forme des stipules des deux espèces de *Ludwigia* (photos A. Dutartre)

L. peploides



L. grandiflora



Dans la suite du document, par souci de simplification de la lecture, les deux taxons seront respectivement nommés *L. grandiflora* et *L. peploides*.

La figure 2 présente des illustrations des deux taxons.

Figure 2 : les deux espèces de *Ludwigia*

Ludwigia peploides



fleur



plante érigée



plante rampante



tige rougeâtre



feuilles flottantes



tiges flottantes



colonisation en rive

Ludwigia grandiflora



fleur



rosettes de feuilles en surface



racines aérifères



fruits



forme terrestre



plante érigée



colonisation en rive



bordure d'herbier en plan d'eau

photos A. Dutartre

3. Histoire et géographie de l'invasion

3. 1. Eléments historiques

Introduction

L'historique de l'arrivée et de l'extension des deux espèces de *Ludwigia* actuellement présentes sur le territoire métropolitain, auxquelles a été consacré ce projet, est relativement bien connu, même si de nombreuses lacunes chronologiques subsistent encore. Elles sont apparues pour la première fois en milieu naturel en France au début du XIX^{ème} 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).

Deux hypothèses subsistent quant à la cause de cette introduction en milieu naturel (Dandelot, 2004). Martins (1866) écrit à ce propos : "Delile la cultivait dès 1823 dans le canal de l'Ecole botanique du Jardin des Plantes de Montpellier. Vers 1830, le jardinier en chef, appelé Millois, en porte quelques pieds dans la petite rivière du Lez, près du port Juvénal, où elle est naturalisée en occupant toute la rivière. De Candolle père et fils l'ont constaté en 1836. Depuis, cette plante a envahi non seulement tout le cours inférieur du Lez, de manière à gêner la navigation de la partie canalisée de cette rivière qui conduit à la mer, mais encore elle a pénétré dans tous les canaux et fossés d'irrigation des prairies de lattes, où elle est la plante dominante". Malgré cela, rien n'a manifestement été tenté, à l'époque, pour l'éradiquer et même, d'après A. De Candolle [...] "on a tenté de naturaliser cette plante encore ailleurs: Requier en mit dans les fossés d'Avignon, au bord du Rhône et de la Sorgue; il en apporta à Tonnelle, chez un certain M. Audibert; elle s'est tellement multipliée dans ces diverses localités, dit M. d'Hombres-Firmas (opusc. II, 1848, p. 235) que les botanistes seuls la reconnaissent comme étrangère"

A l'opposé, Mangaud et Graule (*In Berner*, 1971) accusent les usines de lavage des laines, importées dans le port Juvénal de Montpellier, d'être responsables de cette introduction accidentelle. Ces lavoires mis en fonction dès 1700 furent d'ailleurs à l'origine d'une riche flore adventice. Bien qu'ayant compté jusqu'à 458 espèces exotiques, cette célèbre « Flora Juvenalis » (Godron, 1854) est aujourd'hui pratiquement éteinte (Rioux & Quézel, 1950).

Les indications anciennes sur les jussies apportent d'ailleurs d'autres renseignements sur leur biologie. Par exemple les auteurs du XIX^{ème} siècle remarquent que la plante fleurit mais qu'elle est stérile et ne se propage que par voie végétative mais en 1893 la plante est récoltée par Coste à l'état fructifère avec des graines développées (Thellung loc. cit.), ce qui est le cas aujourd'hui. Enfin citons encore Martins (1855) qui mentionne la jussie comme plante "n'ayant nullement souffert" lors du terrible hiver 1853-1854 qui, à Montpellier, a engendré 53 jours de gel avec des températures atteignant -12° (*in Vauthey et al.*, 2003).

Dispersion

Quoiqu'il en soit, à partir du Lez, la plupart des réseaux hydrographiques du Midi méditerranéen de la France ont été progressivement colonisés par ces espèces à forte dynamique de développement. A la fin du XIX^{ème} siècle, des populations de *Ludwigia spp.* ont été signalées dans le Sud-Ouest : d'abord à Bayonne en 1883 (Guillaud, 1883), puis à Bordeaux, en 1919 (Berner, 1971). Il est possible que cette introduction soit directement liée aux activités portuaires de Bayonne. D'après Ballais (1969) l'introduction de la "Jussie" dans le Sud-Ouest pourrait être éventuellement une conséquence d'un "essai de naturalisation par J. Eyquem, alors attaché au jardin botanique de Talence, en 1882". Au cours du XX^{ème} siècle,

son utilisation généralisée pour l'ornementation des bassins d'agrément extérieurs a sans aucun doute contribué à accélérer son expansion sur le pourtour méditerranéen, sur toute la façade atlantique et dans quelques sites du Centre, de l'Est et du Nord de la France (Dutartre & Ancrenaz, 2002 ; Dandelot, 2004).

Toutefois, les recherches menées par Dandelot (2004) sur ces aspects historiques permettent d'extraire des informations intéressantes sur la dispersion des deux taxons.

Comme le montre le tableau 1, l'installation des *Ludwigia* semble avoir suivi de très près leur introduction. La colonisation du Lez a été réalisée en quelques années seulement (Martins, 1866) puis elle s'est étendue progressivement à tout le Languedoc, le Roussillon et la Provence.

La colonisation du reste de la France (tableau 2) s'avère beaucoup plus tardive : le premier signalement du taxon sur la Façade atlantique date de 1883 à Bayonne (Guillaud, 1883). Cependant grâce à l'examen et à la vérification de la détermination de nombreux exsiccata d'herbiers (Collections de Marseille, Montpellier, Bayonne et Clermont-Ferrand), il a été constaté qu'en région méditerranéenne les deux espèces de *Ludwigia* ont suivi deux dynamiques bien distinctes de colonisation.

- 1- Tout d'abord *L. grandiflora* a proliféré, en s'étendant progressivement partout dans le Midi, durant le XIX^{ème} siècle.
- 2- Puis, peu à peu *L. peploides* a gagné du terrain, en concurrençant sa congénère, du début du XX^{ème} siècle à nos jours.
- 3- Actuellement, les peuplements monospécifiques de cette dernière prédominent en région méditerranéenne.

Ceci explique les distributions géographiques erronées figurant dans des flores de France et certaines divergences entre auteurs : selon Raven (1963), sur examen d'herbiers, seul le taxon *L. grandiflora* était présent en France et, selon Zardini *et al.* (1991), après examen sur des échantillons de plantes actuelles, seul *L. peploides* était présent. Coste (1937) illustre l'espèce par un dessin du premier taxon ; seul Rouy (1901) signale deux variétés qui semblent bien correspondre, dès cette époque, à l'existence de deux espèces distinctes. La prolifération très rapide de *L. grandiflora*, dans certains sites (Lez, Orb, Néffies, Ile Sainte-Lucie), a donné lieu à la réalisation de très nombreux échantillons de cette plante qui figurent dans tous les herbiers français et internationaux. Ils permettent d'évaluer la fréquence des deux taxons au cours du temps : jusqu'en 1910 *L. peploides* reste rarissime (1 échantillon sur plus de 30 de *L. grandiflora*), puis augmente au fil du temps en devenant fréquent à partir de 1960.

Comme le souligne Berner (1971), une question demeure : "laquelle de ces deux espèces a vraiment été jetée dans le Lez ? ". D'après nos recherches, les deux taxons étaient présents et mélangés (sous divers noms) dans les collections du Jardin des Plantes de Montpellier de l'époque, tout comme dans les sites envahis dès 1866. Le jardinier Millois a pu introduire les deux en même temps : plantes adultes des deux taxons ou *L. grandiflora* avec du sédiment et des racines contenant des graines de *L. peploides* (cultures côte-à-côte). Enfin, des graines de cette dernière ont peut-être pu aussi s'échapper du Jardin des Plantes.

Quoiqu'il en soit, dès 1823 le même morphotype de *L. grandiflora* non fructifère a envahi très vite la région grâce à son intense multiplication végétative. Cette prolifération a pu masquer la présence de *L. peploides* qui n'apparaît dans les herbiers qu'en 1866. Cependant avec le temps, certains clones *L. grandiflora* ont pu régresser et disparaître, après 40 à 60 ans, comme à Marseille (1876 à 1912), Lunel (1876 à 1939), Néffies et Bédarieux-sur-Orb (Berner, 1971).

	<i>Ludwigia grandiflora</i>		<i>Ludwigia peploides</i>	
Hérault	1822	Jardin des plantes de Montpellier (Herbier Delile)		
	1829	Port Juvénal → 1904, puis en 1909, 1919, 1936, 1941, 1970	1866	Montpellier (sans localisation) puis 1902 : Lez et 1911 : Port Juvénal
	1836	Lez envahi		
	1844	La Mosson		
	1847	Gramont		
	1876	Lattes → 1892		
	1877 - 1887	Saint-Jean de Vedas → 1924		
Bouches-du-Rhône	1876	Marseille, Parc Borély → 1912		
Gard	1880	Marais d'Alès		
Hérault	1881	Orb : La Poujol → 1961		
	1887	Orb : Lamalou-les-Bains	1887	Orb : Lamalou-les-Bains
	1892	Orb : Bédarieux → 1968 Fertile	1890	Orb : Béziers et Bédarieux puis 1905 et 1928
	1893	Orb : Hérépian → 1911 Fertile	1895	Orb : Cessenon (N. Béziers)
	1893	Canal de Lunel → 1911	1888 - 1890	Lunel
	1906	Orb : Lamalou-les-Bains Fertile	1905	Orb : Sérignan (S. Béziers)
	1907 - 1920	Néffies		
	1913 - 1968	Orb : Lamalou-les-Bains		
Gard	1916	Saint-Gilles		
Aude	1919	Ile Sainte-Lucie	1900	Ile Sainte-Lucie → 1923
Gard	1930	Canal de Sète		
Bouches-du-Rhône	1930	Mas Thibert		
Hérault	1935	Agde	1899	Vias (près d'Agde) → 1965
	1936	Roque-Haute (près de Béziers)	1913	Roque-Haute → 1964
			1965	Canal de Capestang
Aude			1965	Narbonne
Bouches-du-Rhône			1985	Durance : Puy-Sainte-Réparate
Pyrénées-Orientales			1989	Tech : Argelès

**Tableau 1 : Chronologie de l'apparition et de l'expansion des deux *Ludwigia* en Région Méditerranéenne française.
Résumé des examens et redéterminations des herbiers de Montpellier, Marseille, Clermont-Ferrand et indications de Berner (1971) (→ : Revu régulièrement jusqu'en...) (Dandelot, 2004)**

Plusieurs causes peuvent expliquer ces évolutions, comme par exemple la dégénérescence normale de clones stériles, l'arrachage des populations (volontaire ou lors des crues ?) ou le comblement des sites, etc. *L. peploides* peut alors profiter du recul de *L. grandiflora* et de la place laissée vacante. Avec le temps, seul ce taxon perdurera et colonisera la région entière.

Apparemment, en région méditerranéenne, on constate plusieurs introductions successives du morphotype non fructifère de *L. grandiflora* dans de nombreux sites, avec toujours les mêmes résultats : substitution progressive de ce taxon par *L. peploides*. Cependant, le cas le plus curieux réside dans l'introduction en 1892, puis l'expansion d'une population bien différente, tout le long de l'Orb, de Bédarieux à Agde. Ces plantes appartiennent toutes à un morphotype très particulier et unique en France : très fructifère (dès l'origine) et auto-compatible. En dépit de leur reproduction sexuée efficace, la plupart de ces peuplements ont disparu, sauf un seul, situé à Hérépian.

L'invasion du reste de la France s'avère beaucoup plus tardive (Tableau 2). Les premières plantes introduites dans le Sud-Ouest, bien que signalées sans plus de précision comme ayant été observées à proximité de Bayonne par Guillaud (1883), pourraient aussi provenir du Jardin Botanique de Bordeaux. D'après nos observations, ces populations, probablement issues de souches d'origines distinctes, sont génétiquement bien diversifiées, hermaphrodites et assez fructifères. Sur la plupart de ces sites, nous nous trouverions donc dans une première phase d'expansion. Toutefois cette situation pourrait bien être radicalement différente de celle de la région méditerranéenne : en effet, la présence de germinations et de plantules viables de *L. grandiflora* dans le Sud Ouest de la France (Dutartre *et al.*, 2005 ; 2006), laisse envisager une évolution différente de celle du Midi méditerranéen car elle pourrait permettre une régénération naturelle des populations de *L. grandiflora* : les sites où les deux taxons co-existent pourraient servir de "laboratoires de terrain" pour suivre l'évolution des relations entre les deux taxons.

Ces investigations nous ont donc permis de mieux caractériser ce qui nous semble être un exemple particulier d'expansion et de compétition interspécifique directe entre deux taxons exotiques. Lorsqu'elles sont en concurrence avec une espèce dotée d'une reproduction sexuée efficace, les populations clonales stériles ou autogames semblent défavorisées et à terme condamnées au déclin.

Ainsi, malgré une première phase d'expansion très rapide, *L. grandiflora* a ensuite très fortement régressé dans la région méditerranéenne. En revanche, *L. peploides*, installée presque en même temps, s'est développée d'abord très lentement, mais de façon régulière grâce à ses possibilités de reproduction sexuée et à la dispersion de ses graines et de ses plantules, avant de proliférer suite ou concomitamment à la régression de sa congénère. Nous n'avons pas actuellement de données permettant d'évaluer précisément les capacités de compétition respectives des deux taxons.

Enfin, le cas des deux espèces du genre *Ludwigia* illustre assez bien certaines des généralités disponibles sur les invasions et les limites de certains processus. Parmi les xénophytes les plus envahissants en France, on compte 77 % de taxons polyploïdes (contre 50,7 % dans la flore indigène) et 23 % de diploïdes. Ces derniers s'installent en général en région méditerranéenne et proviennent le plus souvent d'Afrique et d'Amérique du Sud (Verlaque *et al.*, 2002). De plus, parmi les grands biotopes naturels, seuls le littoral et les écosystèmes aquatiques hébergent un contingent d'invasives caractérisé par un taux de diploïdes supérieur à la moyenne nationale. A l'opposé les exotiques polyploïdes colonisent en pionnières des milieux plus variés dans toute la France.

1883	Pyrénées-Atlantiques	Bayonne	<i>L. grandiflora</i>
1903	Haute-Garonne	Villefranche-de-Lauragais	<i>L. grandiflora</i>
1907	Tarn	Naves (fruits avortés)	<i>L. grandiflora</i>
1913	Gironde	Bordeaux →1970	<i>L. grandiflora</i>
1918	Haute-Garonne	Toulouse : canal du midi	<i>L. grandiflora</i>
1919	Gironde	Bordeaux	Les 2 taxons (Berner, 1971)
1920	Basses-Pyrénées	Pau	<i>L. grandiflora</i>
1921	Haute-Garonne	Castelnau-d'Estréfonds	<i>L. grandiflora</i>
1924	Basses-Pyrénées	Pau : Gave	<i>L. grandiflora</i>
1936 et 1952	Charente-Maritime	Saint-Dizant du Gua	Les 2 taxons (Jovet <i>et al.</i> , 1952)
1942	Tarn-et-Garonne	Moissac	<i>L. grandiflora</i>
1946	Lot-et-Garonne	Agen	<i>L. grandiflora</i>
1950	Tarn-et-Garonne	La Française → 1970	<i>L. grandiflora</i>
1955	Lot-et-Garonne	Marmande	<i>L. grandiflora</i>
1961	Gironde	Coutras	<i>L. grandiflora</i>
1963	Seine-et-Marne	Armainvilliers	<i>L. grandiflora</i>
1970	Landes, Pyrénées-Atlantiques, Vienne		<i>L. grandiflora</i>
1973	Lot-et-Garonne	Mazières-Naresse	<i>L. grandiflora</i>
1979	Isère	Anjou	<i>L. grandiflora</i>
1979	Loire-Atlantique	Nantes	<i>L. peploides</i>
1980	Façade-Atlantique, Nord et Alpes-Maritimes		<i>L. grandiflora</i>
1982	Maine-et-Loire	Saint-Sulpice	<i>L. peploides</i>
1989	Puy-de-Dôme	Mézel	<i>L. grandiflora</i>
1990	Indre-et-Loire		<i>L. grandiflora</i>
1991	Auvergne		<i>L. grandiflora</i>
1995	Vendée		<i>L. grandiflora</i>

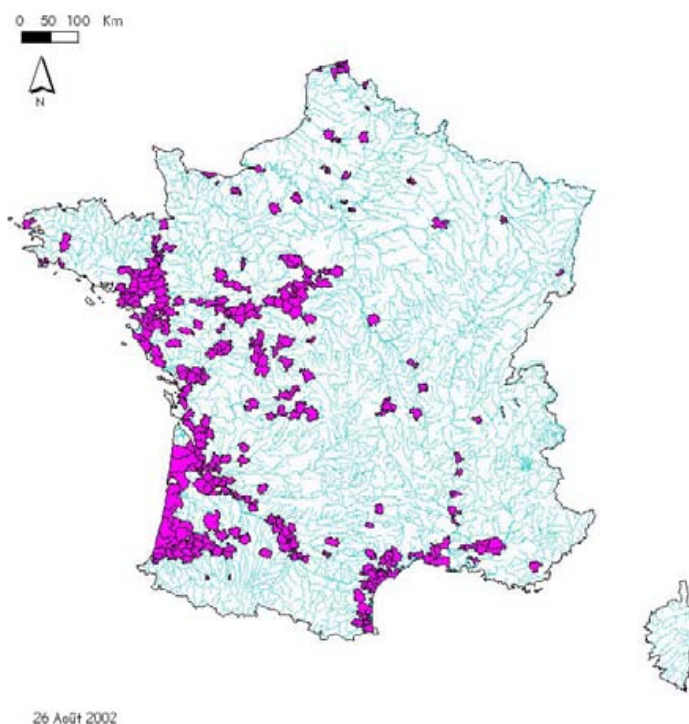
Tableau 2 : Dates des premières signalisations de *Ludwigia* spp. en France, hors méditerranéenne (Dandelot, 2004)

3. 2. Répartition géographique

En France

Pour le territoire national, des cartes successives ont été réalisées avec des moyens plus ou moins importants (Grilllas *et al.*, 1992 ; Salanon, 2000) et une première carte nationale de répartition du genre *Ludwigia* (jussie), sans distinction des deux espèces, a pu être établie en 2002 (Ancrenaz, Dutartre, 2002). Cette carte à l'échelle cantonale (Figure 3) a été construite sur une base d'enquête, intégrant plus de 500 réponses, et a été partiellement validée dans les sites que les participants au projet et nos interlocuteurs réguliers ont pu visiter depuis. Elle doit donc être considérée comme indicative.

Figure 3 : Carte de répartition du genre *Ludwigia* en France (Dutartre, Ancrenaz, 2002).



Les informations ponctuelles ou plus synthétiques, à des échelles diverses, recueillies depuis son établissement montrent que cette carte reste globalement valable à l'échelle du territoire national : largement répandues dans la moitié sud (entre delta du Rhône et Aquitaine) et sur la frange atlantique (de l'Adour à la Bretagne) de la métropole, les jussies sont également présentes le long des vallées de grands fleuves tels que la Loire et le Rhône et de certains de leurs affluents, de fleuves de taille plus réduite comme la Vilaine et la Somme, dans des régions d'étangs comme la Brenne, la Sologne ou l'Armagnac. Elles sont également présentes de manière disséminée, dans le Sud Est de la France, dans le Var, par exemple, du Nord Ouest (de la Normandie à la frontière belge) et du Nord Est, dans quelques stations en Champagne, en Lorraine et en Alsace.

Nous n'avons pas cherché à actualiser cette carte qui peut encore être considérée comme utilisable à cette échelle mais est très largement incomplète dès que l'on va s'intéresser à des parties de territoires, car la dynamique d'expansion des deux espèces perdure et une très forte évolution des pratiques en matière de cartographie des plantes aquatiques envahissantes, dont les jussies, s'est produite depuis quelques années.

En effet, des informations plus précises sont maintenant disponibles suite à des travaux de cartographie réalisés par des gestionnaires dans différents sites et différents objectifs et à

différentes échelles de territoires, comme par exemple dans les régions des Pays de Loire, Provence Alpes Côte d'Azur, Languedoc Roussillon, le territoire de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, le bassin versant de la Sèvre Niortaise, la Sologne des étangs, une partie de la Brenne, etc.

Par ailleurs, les Conservatoire Botaniques Nationaux ont commencé depuis quelques années de répertorier des informations sur les espèces présentes dans les biotopes que leurs botanistes vont cartographier, espèces indigènes ou exotiques, et sont à même de fournir sur demande les données concernant telle ou telle espèce.

Répartition des deux taxons en France (Dandelot, 2004)

Les figures 4 et 5 présentent la localisation des sites respectifs de *L. peploides* et de *L. grandiflora*, après les vérifications taxonomiques indispensables, à partir des récoltes dans le Sud de la France de Sophie Dandelot et sur les échantillons d'herbiers envoyés par divers correspondants.

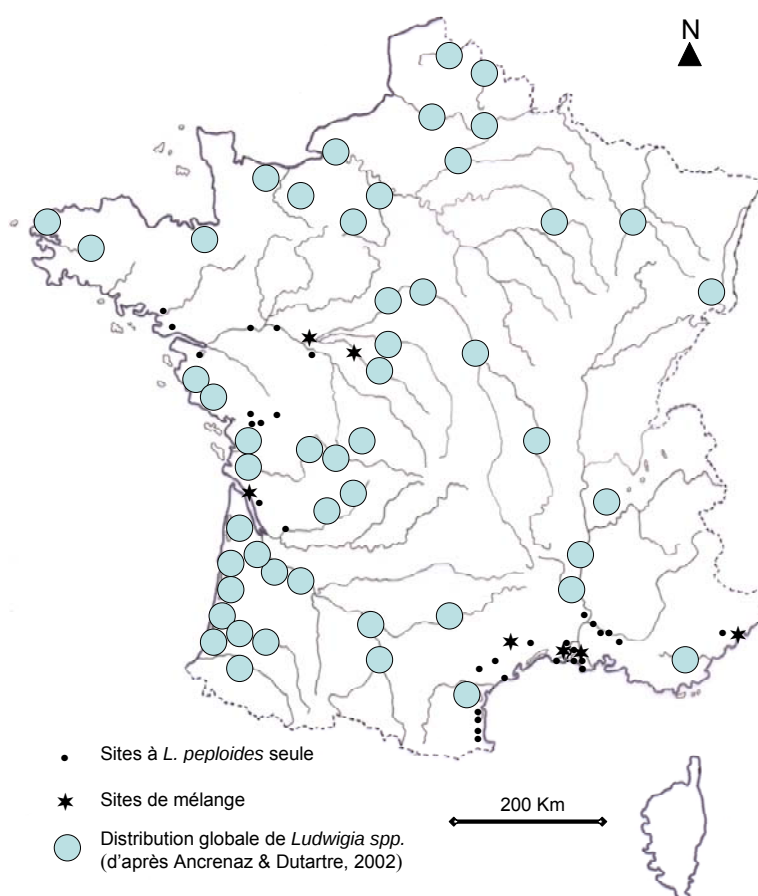


Figure 4 : Distribution de *L. peploides* (taxon seul ou en mélange) dans les sites prospectés (Dandelot, 2004).

La cartographie des deux espèces à partir de ces échantillons demeure encore partielle mais révèle déjà une certaine tendance

L. peploides colonise surtout la région méditerranéenne où il domine très largement. En Provence (Bouches-du-Rhône, Vaucluse et Gard), ce taxon est fréquent sur la Durance, la Touloubre, le Rhône et particulièrement en Camargue où il envahit presque tous les marais,

les étangs littoraux d'eau douce et les canaux. Plus à l'Ouest, dans le Languedoc-Roussillon, l'Hérault, l'Aude et les Pyrénées-Orientales, il prolifère dans le Lez, l'Hérault, l'Orb, la Peyne, l'île Sainte-Lucie, le Tech, la Têt et l'Agly. Le seul secteur méditerranéen encore peu colonisé se situe dans les Alpes-Maritimes, où *L. peploides* ne se rencontre pour l'instant que sur la Brague à Antibes en mélange avec *L. grandiflora*. Dans le reste de la France, ce taxon est également bien présent dans certains secteurs de Gironde et du cours inférieur de la Loire (Deux-Sèvres, Indre et Loire, Loire Atlantique et Maine et Loire) et dans le Marais Poitevin. Il est également présent de manière éparse sur la Garonne et dans les Barthes de l'Adour.

A notre connaissance, jusqu'à présent aucune observation de jussie n'avait été faite en Corse. En juin 2007, une demande d'aide à la gestion émanant de l'Office d'Environnement de la Corse faisait état de la présence de *L. peploides* dans deux stations situées à proximité de l'aéroport de Figari, dans le sud de l'île. Découverte par Alain Delage, botaniste, la plante est présente dans les deux premiers bassins de la station de lagunage de l'aéroport et dans un petit cours d'eau plus en aval dans les zones dépourvues de ripisylves. Ce ruisseau reçoit les eaux d'un fossé à écoulement temporaire provenant de la station de lagunage. Selon le propriétaire, les jussies dans le ruisseau sont présentes depuis 2 ou 3 ans (Laetitia HUGOT, Office d'Environnement de la Corse, communication personnelle). Cette nouvelle localisation de la plante dans une région d'où elle était apparemment absente doit inciter à une vigilance accrue car le climat méditerranéen lui est plutôt favorable.

En revanche, *L. grandiflora* prédomine très largement et se rencontre un peu partout en France (Figure 5). Dans le Sud-Est (Alpes-Maritimes, Var), ce taxon est présent dans la majorité des rivières et des plans d'eau. Sur la façade atlantique, il s'étend dans la plupart des réseaux hydrographiques : Finistère, Morbihan, Loire-Atlantique, Charente, Gironde, Landes, Pyrénées Atlantiques. Il a également envahi certains secteurs continentaux de notre territoire (la Garonne et ses affluents, l'Ille-et-Vilaine, l'Indre-et-Loire, et même le Puy-de-Dôme), jusque dans l'Est (Moselle) et le Nord.

Les deux espèces cohabitent dans quelques sites : sur la Loire (Bertignolles et Thoureil), dans les marais de l'Erdre (Loire Atlantique), en Gironde (Mortagne, Bruges, dans la Réserve Naturelle des Marais de Bruges), dans les Barthes de l'Adour dans les Landes (barthe de Rivière), en Camargue (étang du Scamandre et marais du Vigueirat), dans les Alpes-Maritimes (Brague) et dans l'Hérault (Orb). *L. peploides* domine généralement dans ces herbiers mixtes sauf, apparemment, dans les sites de Gironde et des Landes.

Compte tenu des tests en partie fructueux lors des croisements interspécifiques réalisés par Dandelot (2004), la possibilité d'apparition d'hybrides, souvent réputés très agressifs, ne peut être totalement écartée mais, à notre connaissance, aucun hybride n'a encore été détecté en France et aucune donnée de la littérature n'en fait mention.

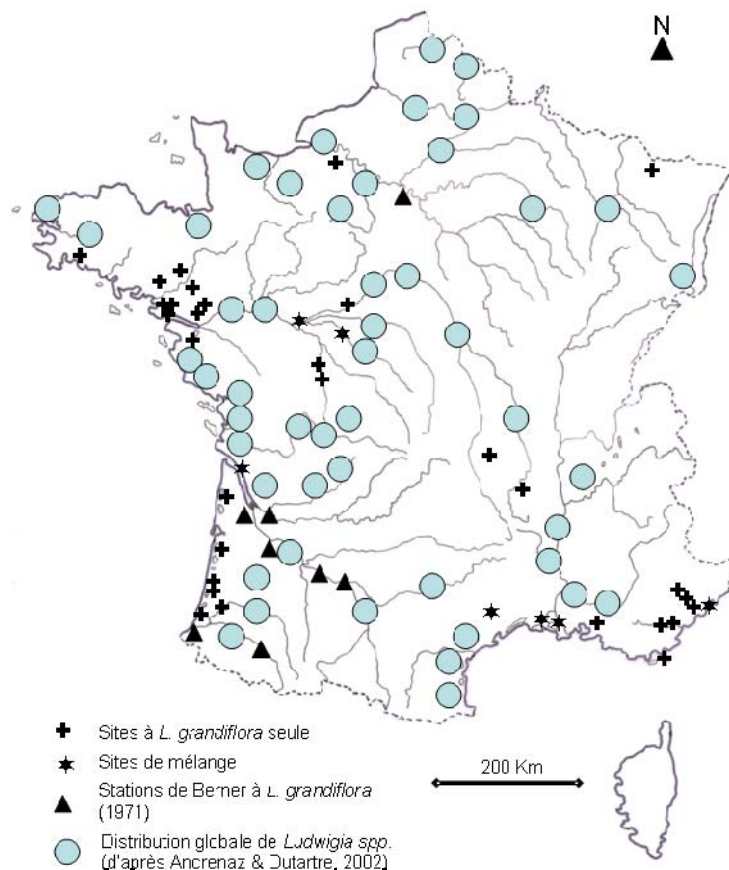


Figure 5 : Distribution de *L. grandiflora* (taxon seul ou en mélange) dans les sites prospectés et stations de Berner (1971) (Dandelot, 2004).

En Europe de l'Ouest

Ces espèces sont maintenant signalées en Espagne, Suisse, Italie, Belgique, Pays Bas et Angleterre.

Selon Vauthey *et al.* (2003), *Ludwigia grandiflora* est connue en Catalogne et dans la région de Valence en Espagne, en Suisse dans une station proche de Genève où elle a fait l'objet d'un essai d'éradication, dans un étang proche de Crémone en Italie (Sylvia Assini, comm. pers.), sur plusieurs stations en Belgique (dans la partie sud du pays) et aux Pays Bas dans un site de l'est du pays à Tiel.

En Belgique, une station dans le Hainaut belge est un étang où la plante a été introduite pour des raisons ornementales à partir d'un autre bassin ornemental proche et où elle a proliféré jusqu'à devenir nuisible en 2006 selon le propriétaire du site.

Elle se trouve dans plusieurs stations en Angleterre où son extension est jugé préoccupante (Stewart Clarke, comm. pers.) et où les espèces de jussies ont fait l'objet en 2007 d'une fiche d'évaluation de risque (UK Non-Native Organism Risk Assessment Scheme) (Max Wade, comm. pers.).

3. 3. Cartographies en cours

Même si une part de ces recherches d'informations a été initiée avec l'aide des participants au projet, il s'agit incontestablement d'une thématique où les informations recueillies sont de nature et de qualité très diverses.

Une des missions des Conservatoires Botaniques Nationaux pour le compte du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable est d'accroître les connaissances sur l'état et l'évolution de la flore sauvage et des habitats naturels et semi-naturels en réalisant des inventaires de terrain. Ces inventaires concernent l'ensemble des habitats et incluent les espèces exotiques. Des données sur les jussies sont déjà disponibles dans certains de ces établissements.

D'autres organismes, tels que les Agences de l'Eau ou des Agences ou Services régionaux et départementaux, ont pour objectif de mettre en place une coordination des actions de gestion pour laquelle les éléments géographiques constituent une base d'organisation. D'autres, plus directement engagés dans des interventions concrètes, comme le Parc Naturel Régional de Brière ou l'Institution Interdépartementale de la Sèvre Niortaise (IIBSN), acquièrent eux même ces données et les utilisent directement dans la mise en œuvre de leurs travaux.

De plus, la disponibilité des informations émanant directement de gestionnaires, partenaires de départ du projet ou plus récents, est directement liée au rythme et à la nature des activités de ces gestionnaires.

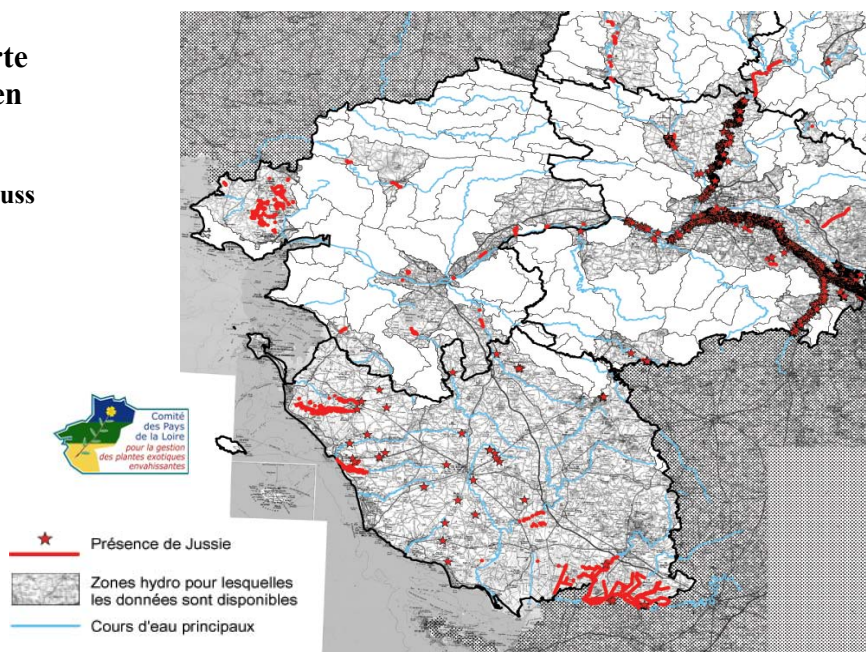
Par exemple, la coopération engagée en partenariat avec le Parc Naturel Régional Loire Anjou Touraine par une des participantes au présent programme (E. Lambert) a permis de réaliser un suivi cartographique des jussies des rives de la Loire au cours des années 2003 et 2004, plus particulièrement en Maine-et-loire et Indre-et-Loire. Elle vient compléter la cartographie déjà réalisée en 2002 par G. Delaunay sur la partie du PNR classée en site Natura 2000 "La Loire des Ponts-de-Cé à Montsoreau" qui s'étend sur 53 Km de long pour une largeur variant de 400 à 1500 m. Cette première cartographie mettait en évidence que la moitié amont du site (entre Gennes et Montsoreau) était la plus touchée, mais que toutes les communes étaient affectées à des degrés divers.

Les travaux engagés depuis plusieurs années dans le cadre du Comité régional de Gestion des plantes exotiques envahissantes Pays de la Loire auquel contribuent, depuis la création de ce groupe de travail, trois des participants au présent programme (A. Dutartre, J. Haury, E. Lambert), comportent des cartographies de différentes espèces exotiques envahissantes, dont les jussies, à cette échelle régionale. La figure 6 présente un extrait de la carte de répartition des jussies établie à partir des données obtenues en 2005 sous l'égide de ce Comité.

Cette carte précise les bassins versants sur lesquels des investigations ont été menées, ce qui évite les extrapolations pouvant être faites à partir d'une carte "présence-absence" n'indiquant pas les territoires explorés.

Figure 6 : Extrait de la carte de répartition des jussies en Pays de la Loire en 2005

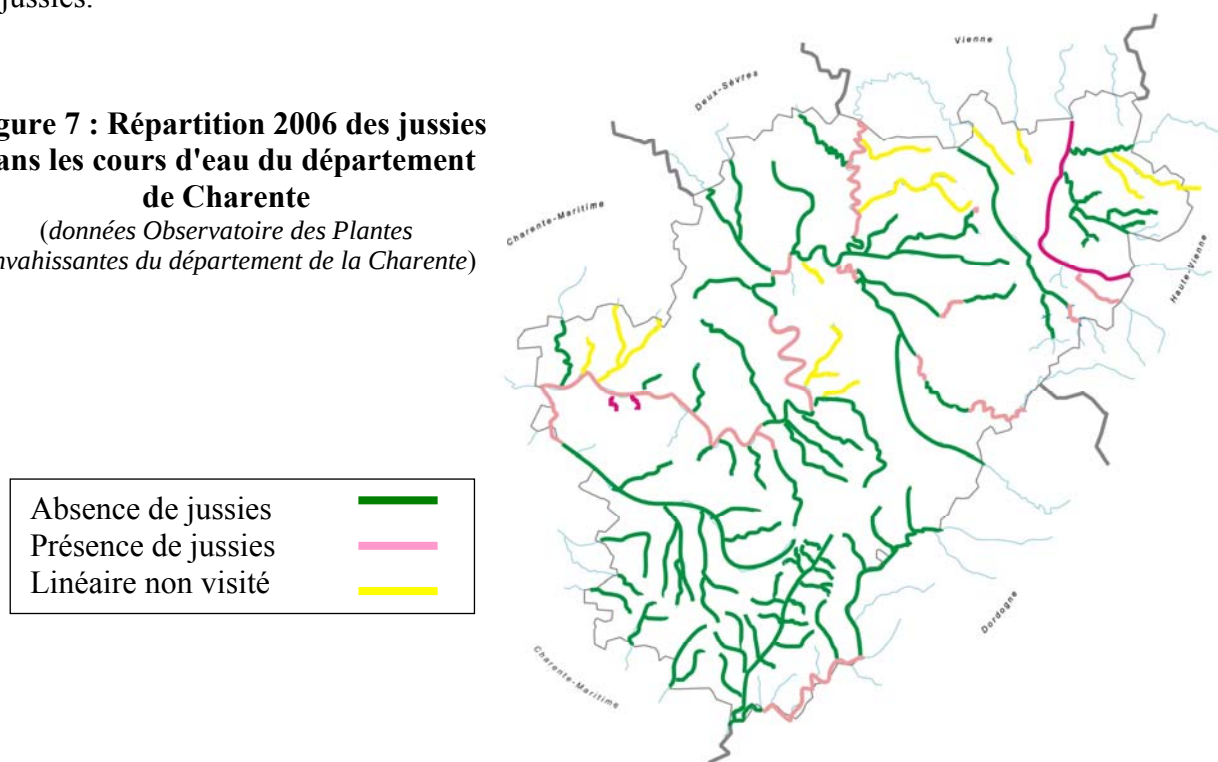
http://www.pays-de-loire.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/JussiePdL2005_A3port.pdf



Une démarche similaire a été engagée par l'Observatoire des Plantes Envahissantes du département de la Charente, mis en place depuis 2003, sous la coordination de la Direction de l'Eau et de l'Hydrologie du Conseil Général de la Charente (Alain Marchegay, Conseil Général de la Charente, communication personnelle) avec la participation d'un des membres du présent programme (A. Dutartre). La figure 7 présente un bilan de la cartographie des jussies réalisée en 2006 sur une partie notable des cours d'eau du département, localisant les rivières où aucune observation n'a été réalisée, ainsi que les rivières visitées mais "orphelines" de jussies.

Figure 7 : Répartition 2006 des jussies dans les cours d'eau du département de Charente

(données Observatoire des Plantes Envahissantes du département de la Charente)



Dans les deux cas, la différenciation des taxons n'est pas un objectif des cartographies : il s'agit bien de réaliser un bilan de la colonisation et d'évaluer sa dynamique à cette échelle géographique par des cartographies successives pour en tirer des éléments de caractérisation des programmes de surveillance et de gestion de cette colonisation.

4. Caractérisation des biotopes d'élection

4.1. Aspects méthodologiques

La très grande adaptabilité des taxons de jussies à de nombreux types de milieux humide nous a conduits à établir une typologie des biotopes favorables à l'installation et au développement de leurs populations, afin de préciser les modalités de colonisation et de pouvoir envisager une approche prédictive des processus en cours. Par ailleurs, la confrontation entre ces données d'observation et les caractéristiques des habitats d'intérêt communautaires Rameau & coll., 2001 ; Gaudillat, Haury & coll. 2002) et des habitats plus "ordinaires" permettent d'établir un bilan plus complet des potentialités de colonisation des habitats du territoire national par les deux taxons.

Le protocole de recueil de données sur les sites étudiés par les différents participants au projet a été le plus possible standardisé afin de permettre la constitution d'une base de données autorisant le traitement de l'ensemble des données recueillies.

Les éléments recensés étaient d'ordre physique (situation dans le milieu, longueur, largeur, profondeur, granulométrie du sédiment, lumière, etc.) et physico-chimique (température, pH, conductivité, trophie, etc.) ; ils traitaient également de la connexité des milieux, comme par exemple de la situation des biotopes colonisés dans des complexes tels qu'un fleuve et ses annexes hydrauliques ou un réseau de fossés dans une zone humide. Ils intégraient de plus des éléments liés à la dynamique des eaux (vitesses de courant, position par rapport aux vents dominants, vagues et houle dans les plans d'eau, évolution des niveaux d'eau, etc.). Enfin, la structure générale des herbiers de jussie (recouvrement, fragmentation, élévation par rapport au niveau des eaux, gamme de profondeurs colonisées, etc.) et la physionomie des plantes (architecture générale des pieds, états phénologiques, etc.) étaient également notées.

Les choix des sites étudiés par les participants au programme ont tenu compte de la diversité régionale des sites colonisés par les jussies, des demandes de gestionnaires comportant la mise en place d'interventions de gestion et des besoins du projet pour couvrir l'ensemble des grands types de biotopes déjà connus.

Afin de compléter les données dans ce domaine et d'élargir la répartition géographique des observations à d'autres zones du territoire que celles effectivement étudiées par les participants au projet, la fiche d'enquête déjà citée a été proposée et discutée lors des différents contacts avec certaines des partenaires extérieurs du projet.

Depuis sa mise en service originelle, elle a été progressivement adaptée aux besoins d'autres intervenants sur la thématique des plantes exotiques envahissantes, incluant à chaque fois les jussies, à des échelles variables (départements, régions, bassins versants) et a constitué une des bases des échanges d'informations entre gestionnaires et intervenants de terrain et coordinateurs centralisant les données.

Elle comporte un nombre d'éléments de descriptions des biotopes et de l'état de colonisation par les jussies plus réduit que le protocole standardisé, afin de pouvoir être mis en œuvre de manière plus systématique par ces autres opérateurs.

4. 2. Résultats et discussion

Le tableau 2 (adapté de Ancrera & Dutartre, 2002) est une première typologie des sites colonisés par les jussies (sans distinction d'espèce). Les 567 sites recensés à la suite de

l'enquête se répartissent dans divers types de plans d'eau, cours d'eau et zones humides de nature et de fonctionnement très variables.

Tableau 3 : Typologie des sites colonisés par *Ludwigia* spp en France

Type de milieu	%
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 fossé	6,2
Zones humides permanentes ou temporaires	7,9
Prairies humides	4,1
Divers (sources, déversoirs de plans d'eau, etc.)	0,5

Compte tenu des données déjà acquises sur la biologie et l'écologie des jussies, cette diversité n'a rien d'étonnant et confirme bien les grandes amplitudes écologiques de ces amphiphytes.

Les résultats déjà obtenus apportent à la fois des précisions sur la nature des sites d'établissement et de développements préférentiels des jussies (biotopes peu courants, peu profonds, bien éclairés, de trophie élevée) et des relativisations quant à la gamme de sites potentiellement colonisables par ces plantes.

La figure 8 présente, à titre d'exemple, une première typologie illustrée des stations ligériennes établie par le CEREAA.

La confirmation des biotopes préférentiels est, d'une certaine manière, assez rassurante sur les modes majeurs de colonisation par ces plantes. Les dernières informations reçues, mais non intégrées dans la typologie des sites, de divers interlocuteurs directs dans le cadre du présent programme ou d'interlocuteurs conjoncturels en demande de renseignements portant sur une aide à la gestion des jussies confirment encore la prééminence de certains types de milieux.

D'autres plans d'eau d'origine artificielle, d'autres zones humides permanentes ou temporaires nous ont été signalées comme colonisées par les jussies. Pour les plans d'eau il s'agit soit de gravières en lit majeur, conséquences d'extraction de granulats, soit d'étangs à objectif piscicole ou de réserve d'eau à usage agricole.

Par exemple, une demi-douzaine d'étangs dans plusieurs communes des Dombes en région Rhône-Alpes commencent à être colonisés de manière plus ou moins importante. L'un d'entre eux abrite depuis 1997 des jussies qui se maintiennent malgré les assecs réalisés. Des opérations de gestion sur ces plans d'eau sont en cours de programmation (Laurence Curtet, ONCFS, communication personnelle).

Dans les étangs de l'Armagnac, sites qui nous ont été récemment signalés, les jussies sont en cours de colonisation de 8 étangs sur 6 communes avec des premières observations échelonnées entre 2003 et 2006 et une extension vers les prairies humides en amont sur un de ces étangs. (Sophie Hurtes, ADASEA du Gers, communication personnelle).

Figure 8

Esquisse de typologie des sites ligériens occupés par les jussies

Berges du lit mineur



Grèves exondées du lit apparent du fleuve



Trous d'eau en bordure du lit apparent du fleuve

Boires ou bras morts du fleuve rapidement exondés ou longtemps immergés



Bras principaux ou secondaires de rivières ou canaux aménagés (seuil, barrage, écluse, ...).

Etangs



Clichés : N.Prost, E. Héland, E. Lambert

Toutefois, une analyse typologique aussi globale ne rend pas totalement compte de la large gamme de biotopes colonisés par ces taxons. Certains biotopes qui paraissaient *a priori* peu ou pas du tout accueillants pour les jussies peuvent tout à fait devenir des sites d'accueil de ces plantes, temporaires dans la plupart des cas mais pouvant contribuer à leur dispersion.

En effet, les investigations menées dans certains sites ont conduit à quelques surprises. Par exemple, dans des bordures de cours d'eau où la colonisation semblait peu probable à cause de la dynamique permanente des eaux, avec des vitesses de courant de quelques dizaines de cm/s, des pieds isolés de jussies sont susceptibles de s'installer dans des micro-biotopes de quelques décimètres carrés et de se maintenir en l'absence de fortes crues hivernales.

De même, l'établissement d'une gamme de position par rapport au niveau des eaux dans les biotopes colonisés se retrouve régulièrement confronté à des exemples amenant à élargir cette gamme. Si les profondeurs maximales de développement sont restées globalement les mêmes depuis plusieurs années, quelques observations indiquant un maximum de 3 mètres dans certains plans d'eau, les hauteurs maximales de développement par rapport au niveau moyen des eaux, soit d'eau libre, soit d'eau dans les nappes superficielles, ont régulièrement augmentées depuis une dizaine d'année, passant d'environ 0,4 m à 0,8 m. Les hauteurs maximales correspondent à des sites où les niveaux d'eau varient fortement au cours de l'année et où les niveaux d'eau en période automnale sont bas, voire des sites asséchés. Par exemple, dans une station du sud des Landes (Tarnos), une zone fortement colonisée par les jussies (*L. grandiflora*) est régulièrement asséchée en automne et le niveau de la nappe est à environ 0,8 m en dessous du sol : les jussies y sont alors en difficulté physiologique assez visible de manière plus précoce que dans les biotopes proches encore en eau mais continuent d'année en année de produire fleurs et graines au sein d'un herbier dense.

D'autres informations reçues de nos interlocuteurs gestionnaires ont également élargi la gamme des biotopes potentiellement colonisables. Par exemple, une information très récente nous signalait la présence de trois petites implantations de Jussies (*L. peploides*) qui se développaient à la faveur de suintements d'eau douce au dessus des bancs tourbeux sur la dune de la plage du Pin Sec (coté nord) (Christophe Monferrand, Société Linnéenne de Bordeaux, communication personnelle), c'est à dire face à l'Océan : la présence de ces plantes dans ce biotope extrêmement particulier ne s'explique pas mais elles sont probablement présentes depuis plus d'une année ; leur durée de survie dans cet environnement *a priori* peu favorable reste inconnue.

**Figure 9 : *L. peploides* sur
la dune du Pin Sec
(Gironde)**

(photo Christophe Monferrand)



Liste des habitats colonisés par les jussies

Les communautés végétales pouvant être colonisées par les jussies et donc potentiellement menacées sont donc très nombreuses. Elles correspondent à divers habitats d'intérêt communautaires (Rameau & coll., 2001 ; Gaudillat, Haury & coll. 2002) mais également des habitats plus "ordinaires". En effet ces habitats jugés moins importants sont fréquemment en interconnexion avec les précédents et peuvent ainsi contribuer à leur colonisation en constituant des refuges pour les espèces exotiques dont les jussies et, de ce fait, des sources de colonisation. Ces menaces concernent non seulement les milieux strictement aquatiques et leurs berges, mais aussi l'ensemble des milieux inondables qu'ils soient ou non d'intérêt patrimonial.

Habitats d'intérêt communautaire

Le développement des jussies dans des habitats d'intérêt communautaire menace donc certaines communautés d'intérêt patrimonial qui y sont présentes, sans qu'il soit réellement possible de parler d'élimination définitive des espèces constitutives de ces communautés, probablement faute de recul historique et de suivi détaillé des communautés. Il s'agirait plutôt de mauvais état de conservation des habitats concernés, la dégradation d'état pouvant être plus ou moins prononcée selon l'intensité de la colonisation par les jussies.

Les observations menées sur les sites Natura 2000 de la vallée de la Loire des Ponts de Cé à Montsoreau par le CEREAs (déjà citées à titre d'exemple), sur la Loire moyenne par D. Lejas (2001) puis par B. Ruaux (thèse en cours), par l'équipe de Rennes sur différents milieux de la Basse Loire et de la Vilaine et de ses hydrosystèmes inféodés (Le Tréis 2003, Ruaux 2004, travaux en cours) ainsi qu'un examen (superficiel) des données sur les sites envahis et le dépouillement des cahiers d'habitats (Gaudillat, Haury & coll., 2002) montrent que ces menaces peuvent concerner aussi bien les rivières et leurs annexes fluviales que les marais et les étangs.

Pour les eaux à caractère stagnant dominant

- **L'habitat élémentaire 3110-1 des eaux oligotrophes très peu minéralisées des plaines sablonneuses (*Littorelletalia uniflorae*)**, correspondant à des grèves et zones peu profondes avec un tapis végétal ouvert est cité comme pouvant être colonisé par les Jussies. Cette colonisation reste à vérifier, notamment sur les petits étangs landais où elle pourrait correspondre à une menace sérieuse. Dans divers cas la colonisation des jussies reste peu importante ou présente une faible dynamique à cause de l'exposition aux vents et aux vagues de ces plages située en rive est de ces plans d'eau.

- **L'habitat 3130 des eaux stagnantes oligotrophes à mésotrophes à végétation des *Littorelletea uniflorae* et/ou des *Isoeto-Nanojuncetea***, peut être colonisé dans son ensemble (hormis la déclinaison montagnarde, ce qui serait néanmoins à vérifier dans les monts du Forez) – et concerne la Brenne, la Sologne, la Dombes et l'ensemble des étangs. La déclinaison 3130-5 représentée par l'alliance du *Nanocyperion flavescentis*, caractéristique des milieux limono-vaseux localisés en frange des grèves alluviales dans les zones de battement des eaux est colonisée et potentiellement en danger sur les grèves de Loire.

- **Les communautés à Characées des Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara* ssp. (3140)** des étangs et gravières mais aussi certains bras morts, sont également particulièrement menacées lorsque les Jussies sont introduites dans leurs biotopes, cette menace n'ayant pas été identifiée au début des années 2000. Ainsi sur les gravières d'Apigné (Ile et Vilaine) où l'on rencontre *Chara globularis* et *Topypella elongata*, *L. grandiflora* se développe au dessus, voire momentanément en mélange avec les Characées.

- **Les lacs eutrophes naturels avec végétation du type Magnopotamion et Hydrocharition (3150)** sont les principaux milieux d'introduction des jussies (avec les étangs aquitains, le Marais d'Orx, les étangs de Brenne, Sologne, le Lac de Grand-Lieu, ...). Les 3 déclinaisons structurales des végétations enracinées (3150-1), libres flottantes à l'intérieur de la masse d'eau (3150-2) et libres flottantes à la surface des eaux (3150-3) sont concernées ; de plus dans ces milieux les jussies ne sont pas les seules espèces envahissantes, et qu'il peut y avoir compétitions avec le myriophylle du Brésil, l'égérie dense, les élodées (du Canada et de Nuttall), le lagarosiphon et la lentille minuscule.

L'habitat élémentaire correspondant aux rivières, canaux et fossés eutrophes des marais naturels (3150 – 4) est représenté sur la Loire par les boires, et de façon plus générale par les canaux et cours d'eau lents (Don) et les canaux des grands marais. Beaucoup de ces milieux sont concernés par les introductions et les proliférations de Jussie.

Pour les rivières

Les impacts éventuels des jussies sur ce type de milieu sont moins bien connues et évaluées, hormis pour les canaux et cours d'eau lents. Toutefois, au vu des inventaires réalisés dans le cadre des recensements macrophytiques pour la mise en œuvre de la DCE et de diverses recherches menées sur les cours d'eau il ressort que la colonisation par les jussies concerne :

- **les Rivières permanentes méditerranéennes à *Glaucium flavum* (3250)** dont les grèves ou les bras morts sont colonisables (Bassin de la Durance notamment, Orb), mais les inventaires détaillés manquent sur ce type de cours d'eau ;

- **l'ensemble des Rivières des étages planitiaire à montagnard avec végétation du *Ranunculion fluitantis* et du *Callitriche-Batrachion* (3260)** est potentiellement colonisable, les systèmes amont oligotrophes étant rarement affectés. Les systèmes les plus concernés correspondent aux cours d'eau aval méso-eutrophes à eutrophes (3260-5) dans lesquels les jussies peuvent s'implanter dans l'ensemble des anses, à l'abri de la végétation autochtone, comme sur le cours principal de la Loire. L'effet corridor est extrêmement marqué dans ces milieux, la colonisation semble provenir très fréquemment des zones humides connectées, ainsi que par les boutures provenant des plaines d'inondation, comme se fut le cas pour la colonisation de la partie aval du Don en Ile et Vilaine. Ces colonisations sont très problématiques quant à l'entretien des cours d'eau et au devenir des zones humides périfluviales ;

- **les Rivières avec berges vaseuses avec végétation du *Chenopodion rubri p.p.* et du *Bidention p.p.* (3270)** avec ses deux habitats élémentaires correspondant l'un aux communautés des sols limoneux et parfois argileux du *Bidention tripartitae*, l'autre aux communautés composées d'espèces mésohygrophiles et thermophiles des sols sableux à graveleux, parfois envasés du *Chenopodion rubri* typique des grèves humides à relativement sèches dans le lit mineur de la Loire, pendant la période d'étiage, sont parmi les habitats les plus concernés dans l'ensemble des annexes hydrauliques, au moins pour le 3270-1 ;

- **les Rivières permanentes méditerranéennes du *Paspalo-Agrostidion* avec rideaux boisés riverains à *Salix* et *Populus alba* (3280) et les Rivières intermittentes méditerranéennes du *Paspalo-Agrostidion* (3290)** sont colonisables (surtout l'aval 3290-2) pour les dernières) et de nombreux cas ont été observés, le long de la Durance, sur certains systèmes courts comme l'Huveaune, ... (Abou-Hambam, 2004 ; Dandelot, 2004).

Pour les végétations forestières,

- les Forêts alluviales à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior* (*Alno Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*) (91EO* = 44.3, 44.4, 44.13) sont des lieux refuges des jussies où elles retrouvent des microbiotopes favorables (clairières, chablis et dépressions humides) éventuellement comparables à ceux de leur aire d'origine.

Pour les végétations terrestres,

- certaines **Mégaphorbiaies (6430-4 : Mégaphorbiaies eutrophes des eaux douces)** sont souvent colonisées par des xénophytes moins hygrophiles que les jussies comme la Renouée du Japon, mais on peut y rencontrer des formes terrestres de jussie apportées lors des crues et qui s'implantent dans la communauté où elles sont piégées ;
- c'est aussi le cas pour certaines **Cladiaies des Marais calcaires à *Cladium mariscus* et espèces du *Caricion davallianae* (7210)** où des colonisations de Jussie peuvent intervenir (marais de l'Erdre ?).

Autres habitats humides

Trois grands types d'habitats humides qui ne sont pas d'intérêt communautaire sont à citer :

- les **végétations aquatiques du *Nymphaeion albae*** et les autres végétations aquatiques se développant dans des milieux de biodiversité "ordinaire" que sont nombre d'étangs d'agrément : ces habitats sont très souvent des milieux où s'effectuent de nombreuses introductions dont les conséquences écologiques peuvent s'avérer très dommageables en fonction de la connexion avec d'autres hydrosystèmes ;
- les **végétations marécageuses et frangeantes à grands hélophytes** (Phragmitaies, Phalaridaies, Cariçaies) **ou hélophytes amphibies** où de nombreuses boutures de jussie peuvent être stockées, s'implanter et servir de réservoir de boutures lors **des crues** ;
- les **végétations prairiales ou les bois humides inondables** peuvent également constituer des lieux refuges importants. Lors des exondations, il se développe des formes terrestres plus ou moins prostrées, qui peuvent poser des problèmes majeurs de gestion : par exemple, sur les marais de l'Erdre, des formes terrestres des deux jussies (qui semblent en mélange dans ce site) se sont étendues sur plus de 130 hectares sur des zones de roselières âgées qui ont fortement régressé.

Cette vaste gamme d'habitats est une autre manière d'illustrer la grande adaptabilité des jussies dans la plupart des habitats d'eau douce. Les processus de compétition en œuvre par ces espèces à forte dynamique de production de biomasse et d'occupation de l'espace ont des impacts notables dans de multiples sites et engendrent des appauvrissements locaux de la biodiversité qui sont indéniables et qui font l'objet de poursuites d'étude dans certains habitats d'intérêt patrimonial comme par exemple dans la thèse de Brigitte Ruaux, Université de Tours. Mais, à l'heure actuelle, nous n'avons aucune preuve d'une perte définitive de biodiversité imputable aux jussies.

5 / Traits biologiques

Des précisions sur les caractéristiques biologiques des jussies ont été recherchées qui pourraient expliquer leurs capacités d'extension à de nouveaux biotopes et d'occupation progressive des biotopes favorables pouvant conduire à l'exclusion des autres plantes colonisant ces mêmes biotopes.

Des données étaient déjà disponibles, en particulier sur certains sites dans le Sud Ouest de la France qui montraient de très grandes variabilités de ces caractéristiques, aussi était-il nécessaire d'acquérir des données dans d'autres régions et dans d'autres types de biotopes pour améliorer la gamme de connaissances et faciliter leur intégration dans les éléments de base de la gestion de ces plantes.

En plus des investigations menées sur les critères de différenciation morphologique des deux espèces, ces données concernent leur capacité de reproduction végétative et/ou sexuée, de production primaire, leur architecture en fonction des biotopes, etc.

L'extrême variabilité déjà observée dans les caractéristiques des jussies dans différents types de milieux a conduit à réaliser des expérimentations en milieu contrôlé pour obtenir des informations éventuellement comparables avec des données antérieures telles que ceux de Rejmankova (1992).

5. 1. Aspects méthodologiques

Morphologie des plantes

Un des préalables des études menées sur la morphologie des plantes, comme leurs capacités de production de matière organique, était le choix des zones de prélèvements : l'extrême variabilité de la colonisation des biotopes par les jussies a évidemment conduit à tenter de réduire autant que possible les aléas engendrés par les modes de prélèvements des échantillons.

Les zones de prélèvement d'échantillons en milieu naturel destinées à ces investigations présentent des herbiers de jussies homogènes de superficie suffisante pour réaliser des prélèvements successifs en cours de période de croissance et présentant, si possible, des caractéristiques de nature des fonds, niveau des eaux, etc., similaires.

A la suite des premiers travaux de 2003 (Pellotte, 2003), des ajustements des protocoles mis en œuvre en 2004 ont concerné une meilleure discrimination des zones de prélèvements, définies sur le terrain grâce aux communautés végétales présentes et aux recouvrements par les jussies (Ruaux, 2004 ; Laffont, 2004 ;) ou grâce à des populations de jussies identiques dans des sites où des interventions ont été ou seront réalisées (Letreis, 2003).

Des précisions des protocoles de prélèvements ont fait l'objet de discussion car il s'agit d'une importante difficulté de terrain, les tiges pouvant facilement se briser en début d développement et, au fur et à mesure de la croissance des plantes, devenant de plus en plus complexes du point de vue architectural, avec de nombreuses ramifications.

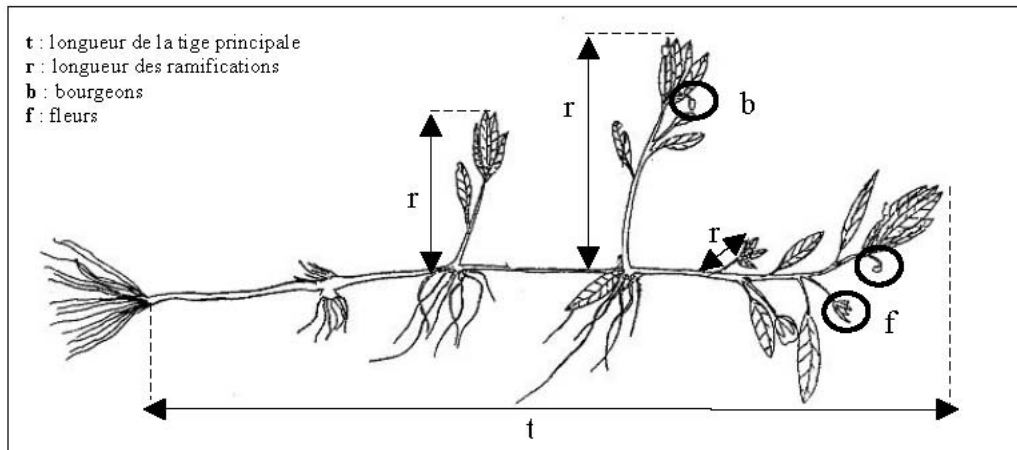
De plus, l'accumulation de litières dans certains sites stagnants rend plus difficile la différenciation entre tiges de l'année et tiges de l'année précédente ; cette différenciation peut être réalisée grâce aux critères suivants :

- différence de diamètre (généralement la base de la tige de l'année est rétrécie),
- nœuds moins marqués,
- insertion plus ou moins perpendiculaire à la tige n-1,
- plus souple, moins "boisée", souvent plus verte.

Comme le montre la figure 10, les tiges de l'année sont théoriquement composées d'une tige principale, de ramifications primaires (voire secondaires et tertiaires), de feuilles (sur la tige principale et sur les ramifications), de racines (sur la tige principale et sur les ramifications) et éventuellement de fleurs.

Figure 10 : Architecture "théorique" d'un pied de jussie.

(adapté de Lebougne, 2001)



Les mesures réalisées sur chaque tige sont les suivantes :

- tige principale : longueur (de la base au point d'insertion de la rosette (apex)), nombre de nœuds présents (insertion de racine, de feuille ou ramification),
- nombre de ramifications totales sur la plante (les bourgeons de ramification sont pris en compte dès que leur taille est supérieure à 1mm),
- pour chaque ramification : précision du rang, longueur et nombre de nœuds,
- nombre de bourgeons floraux, fleurs, fleurs fanées et fruits par plante,
- longueur et largeur de plusieurs feuilles de la tige principale et de feuilles des ramifications.

Biomasses

Compte tenu de la taille des jussies, la surface des échantillons destinés à évaluer les biomasses *in situ* est de 0,25 m², soit un carré de 0,5 m de côté. Le nombre minimum d'échantillons est de 3 mais 5 est un nombre préférable. Les mesures déjà réalisées dans différents sites depuis 1997 montrent que les écarts types de ce mode d'échantillonnage dans des zones assez homogènes atteignent au maximum 20 % de la moyenne.

Compte tenu de la durée de ces mesures, au moins une campagne d'échantillonnage, réalisée durant la période de biomasse maximale, soit en fin d'été, est indispensable. Les autres campagnes éventuelles seront à placer durant la période de développement des plantes en privilégiant en premier lieu le début de la croissance des plantes.

L'analyse des biomasses des différents organes (biomasse "différentielle") est réalisée en séparant ces organes par type, toutes pousses de la même zone confondues dans des contenants pour un premier séchage à l'air. Le séchage final est réalisé en étuve ventilée jusqu'à obtention d'un poids sec constant.

Reproduction sexuée

La capacité de germination des graines de jussies a déjà fait l'objet de diverses investigations et, dans la mesure où une part notable des interventions de régulation de ces plantes consiste en des arrachages manuels ou mécaniques, le devenir des plantes et de leurs graines viables est un des enjeux importants de leur gestion.

Des tests de germination en laboratoire à partir de stocks de graines récupérés dans quelques sites ont été réalisés ; d'autres ont été engagés à la demande des partenaires du projet, comme ceux de Havet (2003) pour le compte de l'Institution Interdépartementale de la Sèvre Niortaise. Ces tests ont également comporté des suivis du développement des plantules produites par ces germinations.

Suivi en rigoles expérimentales :

Quatre expérimentations ont été réalisées sur ces populations de *L. grandiflora* implantées en août 2002 dans deux rigoles expérimentales de la station du Rheu (Agrocampus Rennes), diversement végétalisées, avec des profondeurs d'eau présentant des gradients de 0,3m à 0,8 m pour l'une et 0,5 à 1 m pour l'autre. Elles ont permis des suivis de recouvrement, des analyses phénométriques et des mesures de biomasse.

5. 2. Résultats et discussion

Morphologie des plantes en milieu naturel

Les mesures réalisées dans divers sites montrent d'importantes différences dans les tailles des plantes elles même mais aussi dans celles des éléments tels que feuilles ou pièces florales.

Par exemple les feuilles, pourtant utilisées dans certaines clés de détermination passées, présentent des gammes de longueur et de largeur importantes entre les deux espèces mais également au sein des populations d'une même espèce dans les sites étudiés (Tableau 4) telles que, comme le note Dandelot (2004), ces dimensions restent présentées "à titre indicatif".

Tableau 4 : Comparaison des dimensions (en cm) du limbe et du pétiole des deux taxons

	<i>L. peploides</i>		<i>L. grandiflora</i>	
	Longueur x Largeur	Pétiole	Longueur x Largeur	Pétiole
Munz (1942) Amérique	1 – 10 x 0,5 – 4	0,5 – 5	3 – 6 (10) x 0,3 – 1 (3,5)	1 – 2
Raven (1963) Ancien Monde	1– 9,5 x 0,4 – 3	0,2 – 3	3 – 10 x 0,3 - 1	0,1 – 0,5 (2)
Raven (1968) Europe	1 – 6 x 0,4 – 3	–	3 –13 x 0,3 – 2,5	–
Jovet <i>et al.</i> (1952) Gironde	3,5 – 6 x 1,5 – 2,5	1,5 – 3,5	9,5 –12,5 x 1,5 – 2,5	Nul
Dandelot (2004) (sud est)	3 – 4,7 x 0,7 – 1,5	1,5 – 3,3	7,5 –10 x 1,2 – 2	1 – 1,6 (2)
Pellotte (2004) (sud ouest)	-	-	1,8 – 4,9 x 0,9 x 2,5	1,2 – 4,7
Etangs d'Apigné (2004)	-	-	6,9 – 8,2 x 1,1 – 1,5	-

Ces assez fortes variations sont probablement liées à la région, les caractéristiques du milieu, la saison, l'ensoleillement, etc.

Dandelot (2004) indique que les populations des deux espèces de l'Ouest de la France qu'elle a pu étudier possèdent des feuilles de dimensions supérieures à celles de la région méditerranéenne mais les données de Pellotte (2004) sur quelques sites en Aquitaine et les résultats obtenus sur les étangs d'Apigné (Ile et Vilaine) viennent relativiser cette information.

Les fleurs des jussies sont un des éléments qui rendent les jussies très facilement visibles dans les milieux aquatiques et qui sont le ressort de leur attrait comme plantes ornementales. Dans l'Ouest de la France, Jovet *et al.* (1952, 1974) et Guinochet & Vilmorin (1984) indiquaient des diamètres de 20 à 30 mm pour *L. peploides* et de 40 à 60 mm pour *L. grandiflora*. Selon Dandelot (2004) ces valeurs sont un peu supérieures dans le Sud de la France pour *L. peploides* (20-35 mm) et inférieures pour *L. grandiflora* (28-42 mm). Dans les cultures expérimentales qu'elle a réalisées, les différences entre les plantes originaires du Sud et de l'Ouest de la France s'estompaient mais la différence de diamètre des fleurs demeure un assez bon critère de terrain de différenciation des deux espèces (diamètre inférieur ou supérieur à 30 mm).

La morphologie et les dimensions des plantes présentent également de très importantes variations, même dans des sites proches et interconnectés, comme c'est le cas dans les étangs d'Apigné proches de Rennes.

Par exemple, lors de mesures réalisées sur ces étangs, les mesures sur 15 pousses de l'année (août 2004) par population donnent les résultats suivants (Tableau 5).

Dans les habitats les plus favorables au développement de la jussie, les pousses de l'année présentent donc une plus grande complexité de leur architecture avec de nombreuses ramifications et un développement optimal de l'appareil reproducteur. La population de "référence" (Anse de l'étang A) correspond à une forme "érigée", telle que celle observée dans les polders en eau du Marais d'Orx (Saint Macary, 1998) et décrite ensuite par Legrand (2002).

Dans les habitats moins favorables à ce développement, une simplification de l'architecture des pousses de l'année ainsi qu'un allongement des tiges principales ont été notés par rapport à la population de référence.

Ces différences morphologiques semblent être liées soit à un stress abiotique (assèchement du milieu, présence de vagues, substrat épais et très fin...) soit à un stress biotique (compétition intra- et inter-spécifique). Ces deux types de stress semblent avoir la même origine : une diminution de l'espace disponible pour la plante.

Sur le Don, affluent rive gauche de la Vilaine, des mesures ont été réalisées sur 8 pieds provenant d'une partie en eau d'une douve et 8 pieds poussant en zone émergée prélevés en Mai 2004. Les résultats sont résumés dans le tableau 6.

Les différences phénométriques sont très importantes entre ces populations qui ont *a priori* le même âge mais la variabilité intra population reste également très élevée. Les formes émergées semblent plus chétives, avec une croissance apparemment plus faible.

Les suivis de Pellotte (2003) sur divers sites en Aquitaine montraient également des différences notables de développement des plantes, aussi bien en terme d'architecture (ramifications) que de longueur qu'en terme de production de biomasse.

Tableau 5 : Phénométrie de 15 pousses de l'année sur le complexe des étangs d'Apigné (2004)

(**Etang A - anse** : architecture plus complexe, forte allocation à la reproduction sexuée : population la plus "épanouie" ; **Etang B** : architecture la plus simple et allongement des ramifications, allocation à la reproduction sexuée la moins forte : population la moins "épanouie" ; **Etang C** : intermédiaire)

moyenne +/- intervalle de confiance à 5%	étang A_Anse	étang B	étang C
longueur tige principale	143 +/- 33	134 +/- 35	130 +/- 28
nombre total de ramifications	54 +/- 20	41 +/- 13	49 +/- 21
nombre de ramifications I	17 +/- 6	13 +/- 5	18 +/- 5
longueur des ramifications I	17 +/- 4	23 +/- 5	12 +/- 3
nombre de ramifications II	48 +/- 11	21 +/- 9	22 +/- 12
longueur des ramifications II	6 +/- 1,7	9 +/- 2,2	7 +/- 1,8
nombre de ramifications III	12 +/- 12	7 +/- 5,7	8 +/- 8
longueur des ramifications III	1,15 +/- 0,86	4,29 +/- 2,32	1,47 +/- 0,79
nombre de bourgeons	31 +/- 13	18 +/- 6	21 +/- 11
nombre de fleurs	6,1 +/- 2,1	3,1 +/- 1	4,7 +/- 2,9
nombre de fleurs fanées	4,4 +/- 1,5	2,8 +/- 1,2	2,2 +/- 1,4
nombre de fruits	0,53 +/- 0,42	0,20 +/- 0,21	0,27 +/- 0,23
longueur feuilles t. principales	8,2 +/- 0,6	6,9 +/- 0,4	7,6 +/- 0,4
Largeur feuilles t. principales	1,4 +/- 0,1	1,1 +/- 0,2	1,5 +/- 0,2
longueur feuilles t. primaires	7,1 +/- 0,9	6,4 +/- 0,6	6,3 +/- 0,6
Largeur feuilles t. primaires	1,2 +/- 0,1	1,2 +/- 0,1	1,3 +/- 0,1

Tableau 6 : Phénométrie de 8 pieds de l'année en milieu aquatique ou émergé sur une douve du Don (Ile et Vilaine)

moyenne +/- intervalle de confiance à 5%	Douve aquatique	Douve émergée
Longueur tige principale (cm)	34,5 +/- 11,8	12,4 +/- 4,1
Nombre de nœuds sur la tige principale	33,8 +/- 8,3	34,1 +/- 12,6
Nombre total de ramifications	24,5 +/- 17	9,4 +/- 4
Nombre de ramifications I	17,5 +/- 7,6	9,3 +/- 3,9
Longueur des ramifications I	3,48 +/- 0,8	1,44 +/- 0,42
Nombre de nœuds sur les ramifications I	6,19 +/- 0,82	4,54 +/- 4,18
Nombre de ramifications II	7,0 +/- 10,6	0,1 +/- 0,2
Longueur des ramifications II	0,39 +/- 0,08	0,2 +/- 0
Nombre de nœuds sur les ramifications II	1,7 +/- 0,48	1 +/- 0
Nombre de bourgeons	0	0
Nombre de fleurs	0	0
Nombre de fleurs fanées	0	0
Longueur feuilles t. principales	3,51 +/- 0,49	1,8 +/- 0,19
Largeur feuilles t. principales	1,21 +/- 0,1	0,58 +/- 0,07
Longueur feuilles ramifications primaires	1,59 +/- 0,34	0,78 +/- 0,15
Largeur feuilles ramifications primaires	0,7 +/- 0,1	0,29 +/- 0,05

Les sites étudiés comportaient des bordures de plans d'eau ou de zones humides (Léon, Orx, Carcans), une bordure de cours d'eau (Bénévent, sur la rivière Isle, affluent de la Dordogne) et une prairie humide (Tercis) ; sur le site de Carcans, deux stations très proches l'une de l'autre ont été suivies : Carcans CHE, situé dans la partie aval d'un fossé permanent mais aux écoulements nuls en été et Carcans MO, dans des "mares" en contact permanent avec le lac de Carcans Hourtin. Les mesures ont porté sur 30 tiges prélevées dans chaque site. Les longueurs totales de tige et de tige seules durant la campagne de juillet sont présentées dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Longueurs totale de tiges et de tiges principales (m) dans différents sites en Aquitaine (Pellotte, 2003)
(moyenne sur 30 tiges et écart-type)

	tige totale	tige principale
Carcans CHE	8,7 (4,2)	3,0 (1,1)
Carcans MO	0,6 (0,3)	0,45 (0,15)
Léon	0,8 (0,3)	0,4 (0,2)
Orx	1,0 (0,5)	0,7 (0,2)
Bénévent	0,8 (0,3)	0,7 (0,2)
Tercis	1,0 (0,4)	0,8 (0,2)

La même variabilité des tailles de tiges se retrouve aussi bien entre les sites qu'au sein même des tiges prélevées dans le même site, avec des écarts types élevés pouvant atteindre la moitié de la valeur moyenne.

L'évolution observée entre avril et juillet dans ces différents sites est globalement la même et les tiges, autant que les ramifications participent à l'allongement de la plante. Les périodes d'allongement des tiges et des ramifications diffèrent selon les stations : allongement maximal des ramifications entre les deux premières campagnes puis allongement des tiges principales entre les deux dernières à Orx. C'est l'inverse à Carcans MO et Tercis. Des diminutions des valeurs moyennes sont observées sur les stations de Bénévent, Tercis et Léon mais compte tenu de la grande variabilité dans les échantillons, ces diminutions restent non significatives.

Les longueurs augmentent continuellement sur les deux stations de Carcans CHE, MO où les plantes présentent les valeurs extrêmes observées sur l'ensemble des sites : dans le chenai, les conditions environnementales étaient extrêmement favorables avec un ensoleillement maximum, une profondeur d'eau de l'ordre de 0,3 à 0,6 m et une absence de courant durant la fin de printemps et l'été alors que dans les mares proches du lac soumises aux vagues du lac sur cette rive est les conditions hydrodynamiques étaient une contrainte importante et régulière pouvant ralentir le développement des plantes, confirmation de l'importance des stress environnementaux sur les conditions de croissance des jussies.

En ce qui concerne la station de Tercis, situé dans une prairie humide des Barthes de l'Adour, le développement des jussies (*L. grandiflora*) a subi une très forte évolution entre le milieu du printemps : se développant dans un premier temps sous une forme érigée telle que celles régulièrement observées dans les eaux peu profondes (bordures d'étang et de zone humides) puis, dès l'assec de la zone, une très rapide adaptation morphologique a conduit les plantes à prendre une forme rampante. Le développement en longueur des tiges durant cette période ne présente pas de particularité par rapport aux autres stations mais les tiges rampantes s'enracinent fortement avec des racines adventives à quasiment tous les nœuds des tiges et avec un très fort allongement en longueur des feuilles, concomitant avec une réduction de

longueur des pétioles. Ces modifications morphologiques se sont produites en environ un mois, indice de la rapidité d'adaptation de cette espèce que les travaux de Charbonnier (1999) lors de tests en conditions contrôlées avaient déjà montré.

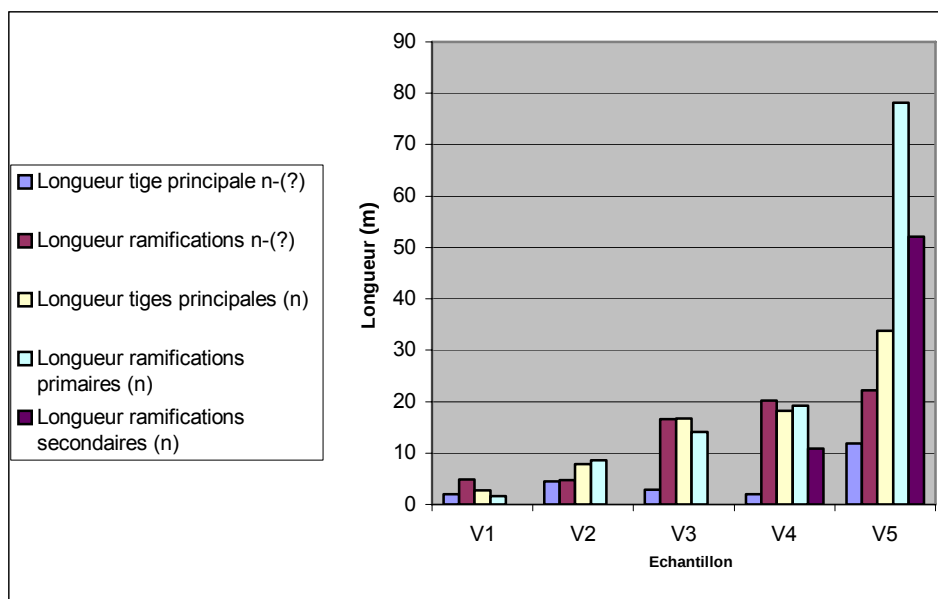
Morphologie des plantes en rigoles expérimentales

Les objectifs de ces expérimentations étaient de tester l'effet de la profondeur sur des pieds de jussie (*L. grandiflora*) avec des profondeurs de 0,3m à 1 m selon les rigoles et de mesurer l'extension des plantes.

Phénométrie de 5 pieds selon la profondeur

Cette étude en fonction de la profondeur croissante de V1 à V5 (figure 11) met en évidence une augmentation de la longueur totale des pieds de V1 à V5. Au sein des cinq échantillons, la longueur de la tige principale ancienne (n-(?)) est la plus faible. Cela est logique car elle est unique pour chaque pied. Les ramifications bien qu'unitairement plus petites deviennent largement supérieures lorsque leurs longueurs sont cumulées. De même, l'augmentation est majeure pour les tiges de l'année (n) (sauf pour V1).

Figure 11 : Longueurs cumulées des pieds de *Ludwigia hexapetala* récoltés fin mai 2004, dans la rigole végétalisée du Rheu



On peut remarquer une très forte augmentation de la longueur cumulée des ramifications primaires et secondaires sur le pied V5. Cette importante variation de longueur cumulée par rapport aux autres pieds peut être partiellement due à l'échantillonnage (lors du ramassage, la hauteur d'eau au niveau de ce pied permettait de limiter le nombre de pertes de ramifications). De plus au regard des schémas de chaque pied (non présentés ici), il est visible que l'architecture des plantes se complexifie de V1 à V5. Le pied V1 ne possède que peu de ramifications alors que V5 est très complexe. Le recouvrement spécifique et la richesse spécifique étant minimal et la profondeur maximale, à cet endroit de la rigole, la plante est moins contrainte dans son développement. Elle peut s'étendre aussi bien horizontalement que verticalement dans la colonne d'eau ou s'érigée.

La plante V5 semble être plus développée (plus longue (près de 200 m en longueurs cumulées !) et plus complexe) car elle a la place de se développer dans un volume plus grand, avec moins de stress. Elle est encore en phase de colonisation.

Au vu de ces résultats, il a été décidé de tester une analyse comparative des pousses de l'année en fonction des profondeurs et d'un éventuel « effet-rigole ».

Dans cette étude menée en 2005, trois répétitions ont été réalisées sur une période de 3 semaines, en prenant dans chaque rigole une pousse par zone de colonisation V1 à V5 et P1 à P5. Le postulat était que les variations temporelles seraient moindres que les variations dues à la profondeur ou à l'effet rigole.

L'effet-rigole envisagé n'apparaît pas nettement et n'a finalement pas été testé. En fonction de la compétition avec une espèce autochtone, *Typha latifolia*, une stratégie d'allongement des entre-nœuds de la Jussie est clairement apparue sur les pousses concernées (P2) dans cette zone à profondeur moyenne.

En revanche le gradient de profondeur s'est traduit par :

- des longueurs de tiges et d'entre-nœuds plus faibles pour les pousses en milieu superficiel (V1 et P1), avec des feuilles principales courtes et peu ou pas de fleurs ;
- une tendance à l'allongement des tiges et des longueurs d'entre-nœuds en fonction de la profondeur pour les autres pousses dans la gamme des V2 et P2 à V4 et P4 ;
- pour les pousses en milieu profond (V5 et P5), qui sont très longues, avec une faible proportion de feuilles par nœud de la tige principale (ce qui pourrait être interprété par une remobilisation des ressources pour la croissance ou une sénescence de ces organes liée à la profondeur et à une plus faible transmission lumineuse), et à l'inverse une allocation de biomasse aux racines la plus élevée : les plus grandes profondeurs apparaîtraient ainsi comme une contrainte pour cette plante amphibie ; toutefois ces pousses ont tout de même pu développer des bourgeons floraux.

Biomasses

Tout comme dans le cas des mesures sur la morphologie des plantes, les mesures de ce paramètre donnent une vaste gamme de résultats très variables selon les sites.

Les données de biomasse de jussies disponibles dans la littérature (toujours exprimées en g de matières sèches par m²) sont relativement variables. Par exemple, Yen & Myerscough (1989) indiquent des valeurs de 15 à 180 g dans des cours d'eau temporaires en Australie. Des canaux de drainage en Californie abritaient des biomasses de 500 700 g Rejmankova (1992). Ce dernier auteur, dans des tests en conditions contrôlées, indiquait que la biomasse maximale produite est de l'ordre de 2000 g.

Les travaux de Dandelot (2004) donnent, parmi d'autres données, des valeurs pour *L. peploides* dépassant 1600 g dans un site de la Durance où les jussies ne sont pas soumises au courant pendant leur période de développement, et proches de 3000 g dans une gravière proche du cours d'eau ; une biomasse proche de 7 kg a été mesurée dans un habitat très favorable de la rivière Siagne en octobre 2003 : il s'agit de la plus importante biomasse dont nous ayons connaissance. Une forte variation inter-annuelle était notée sur ces sites.

D'autres données obtenues en France, entre 1997 et 1999, pour la plupart non publiées, varient de 400 à 2000 g : 400 à 600 g dans un plan d'eau peu profond de la Réserve Naturelle de Bruges (Denis Cheyrou, communication personnelle), de 1000 à 1800 g sur des plans d'eau des Landes, 1100 à 2000 g dans le Marais Poitevin (Nicolas Pipet, communication personnelle).

Des travaux antérieurs au présent programme, dont Saint Macary (1998) et Charbonnier

(1999) avaient permis de présenter des données de biomasses sur différents sites en Aquitaine. Les biomasses mesurées dans un des polders en eau de la Réserve Naturelle du Marais d'Orx dépassaient 2 kg de matières sèches par m² : milieu très favorable avec un ensoleillement maximal, une profondeur peu importante et des substrats organiques, les mesures de Pellotte en 2003 étaient du même ordre de grandeur (Tableau 8)

Tableau 8 : Biomasses (kg de matières sèches par m²) sur divers sites en Aquitaine (Pellotte, 2003)

Carcans MO	1,0
Léon	3,5
Orx	2,2
Bénévent	0,5
Tercis	2,7

La biomasse sur la station de Bénévent est relativement faible : cet herbier située en bordure de cours d'eau à une profondeur de 0,2 à 0,4 m était soumis à des vitesses de courant relativement régulières ne dépassant pas 0,4 m/s. De même la biomasse dans les mares ouvertes sur le lac de Carcans Hourtin et soumises aux vagues reste relativement faible. Dans la prairie humide de Tercis, malgré les faibles conditions d'humidité cette valeur dépassait celle du Marais d'Orx avec des plantes présentant de très fortes proportions de racines et de tiges. Sur l'étang de Léon, la station choisie était située dans un site très protégé des vents et sur substrat très organique. En revanche, les prélèvements réalisés en 2004 dans l'anse Sud Est du même étang (Dutartre *et al.*, 2004), soumise aux vagues et sur substrat sableux, donnent une valeur moyenne ne dépassant pas 500 g.

Les mesures réalisées dans les différents sites des étangs d'Apigné montrent également des valeurs très variables selon les sites, dont un où la présence d'une autre espèce exotique envahissante, *Paspalum disticum*, réduit fortement la biomasse des jussies (Tableau 9).

Tableau 9 : Biomasses (g de matières sèches/m²) dans les étangs d'Apigné (2004)

Etang	Biomasse	Erreur Standard
A - Anse	2190	46
A - Dominance Paspale	215	79
A - Dominance Jussie	320	75
B - Dominance Jussie	2290	112
C - Dominance Jussie	670	193

Dans le marais de Gannedel, situé au sud de Rennes, les mesures de biomasses réalisées en Juillet 2004 (Ruau 2004, Haury & al., 2005) dans deux zones donnent des chiffres très différents selon la position des herbiers de jussies : en bordure, 990 +/- 528 g MS/m² et en zone de transition: 1045 +/- 440 g MS/m².

Dans quelques cas, des mesures de productions journalières moyennes ont pu être réalisées. Elles sont par exemple de l'ordre de 10 à 15 g/m²/jour pour les suivis réalisés au Marais d'Orx, ce qui correspond à des valeurs notables en milieu naturel. Rejmankova (1992) indiquait des productions en conditions contrôlées de l'ordre de 40 à 50 g/m²/jour.

Par ailleurs, une évaluation de la productivité des plantes a pu être réalisée dans certains sites à partir des échantillons de tiges prélevés pour les suivis des évolutions morphologiques des plantes en cours de croissance. Le critère utilisé pour cette évaluation est le temps de doublement de biomasse, estimé à partir des pesées successives.

Les travaux de Pellotte (2003) ont donné pour ce critère des résultats très variables selon les sites (Tableau 10).

Tableau 10 : Temps de doublement de la biomasse (Pellotte, 2003)

Station	Orx	Tercis	Bénévent	Carcans Che	Carcans MO	Carcans MF
Période	du 2/4 au 30/6	du 2/4 au 30/6	du 9/4 au 7/7	du 14/4 au 15/7	du 14/4 au 15/7	du 14/4 au 15/7
Temps de doublement	13,0	31,3	98,4	2,0	13,9	59,3

Ce critère donne des valeurs s'étalant de près de 100 jours dans un cours d'eau où les jussies sont soumises à un courant permanent (Bénévent), 31 jours dans une station des Barthes de l'Adour (Tercis) et en général inférieur d'une quinzaine de jours dans les biotopes stagnants, sauf dans le cas des mares fermées sur la station de Carcans où l'assec a fortement ralenti le développement des plantes sur un substrat sableux. Les résultats obtenus sur cette station sont d'ailleurs très variables puisqu'une valeur de 2 jours, correspondant à une très forte productivité, a été observée dans le site du fossé en eau où les plantes ont pu se développer sans aucune contrainte. Ce biotope très favorable au développement des jussies (*L. grandiflora*) avait de plus fait l'objet d'un arrachage manuel en 2002, ce qui fait que les pieds de jussies réinstallés dans le site étaient dispersés, sans aucune compétition intraspécifique entre ces plantes.

Ce critère présente des variations inter-annuelles notables pour un même site : par exemple, sur la même station du Marais d'Orx où les temps de doublement de biomasse étaient de 13 jours en 2003 (Pellotte, 2003) et de 4 jours en 2004 (Hoogland, 2004) ; de même sur la station de Bénévent, ce temps de doublement de la biomasse était de 68 jours en 1989 (Charbonnier, 1999) et d'environ 98 jours en 2003 (Pellotte, 2003).

L'allocation des ressources, traduites en biomasse, dans les différentes parties des plantes présentent, elles aussi, des variations importantes. De plus, dans les suivis réalisés en 2003 en Aquitaine (Pellotte, 2003), ces proportions de biomasses des tiges, feuilles et racines, pour les tiges principales et les ramifications ne montrent aucune tendance particulière (Tableau 11).

Par exemple, les plantes se développant dans les sites où les contraintes dynamiques sont notables (courant permanent à Bénévent, vagues dans le site "Carcans MO", où les mares dans lesquelles ont été prélevées les plantes sont soumises directement aux vagues engendrées par les vents dominants d'ouest) présentent des proportions de tiges principales du même ordre mais des valeurs pour les racines qui passent du simple au double, alors que les racines jouent des rôles de fixation des plantes. Notons toutefois les valeurs maximales relativement élevées pour les proportions de racines qui peuvent avoisiner 30 % de la biomasse totale.

De même, les proportions de ramifications varient entre environ 3 et 18 %, sans que l'on puisse véritablement corrélérer ces valeurs avec les intensités de stress que peuvent supporter

les plantes dans ces divers sites : si les deux valeurs les plus faibles (Tercis et Carcans MF) semblent bien correspondre à des stress élevés (sites tous deux en voie d'assèchement), la valeur immédiatement supérieure est celle de Léon où la situation des plantes était nettement moins problématiques en bordure d'une zone humide toujours en eau.

Tableau 11 : % de biomasse sèche des différentes parties de *L. grandiflora* dans divers sites en Aquitaine (Pellotte, 2003)

(Tp : tige principale ; FTp : feuilles des tiges principales ; RTp : racines des tiges principales ; Tr : tiges des ramifications ; Fr : feuilles des ramifications ; Rr : racines des ramifications)

	Tp	FTp	RTp	Tr	Fr	Rr
Carcans CHE	41,3	5,5	19,0	18,3	15,6	0,3
Carcans MO	52,3	10,9	27,3	6,9	2,0	0,7
Carcans MF	45,2	22,6	18,6	4,0	9,6	-
Léon	36,7	20,9	23,9	5,3	11,2	2,1
Orx	35,1	15,2	28,7	9,4	6,8	4,4
Bénévent	49,3	22,8	13,3	5,1	9,5	-
Tercis	58,8	27,0	2,0	3,2	4,2	0,1

Dans les travaux menés sur les étangs d'Apigné, le marais de Gannedel, et la basse vallée du Don, d'autres remarques sur ces répartitions de biomasses sont possibles.

Pour Apigné comme pour Gannedel, les allocations de biomasses sont à interpréter en fonction du passage du stade aquatique traçant dominant lors des campagnes initiales aux stades ultérieurement dressés. De façon générale, on observe une augmentation de taille des pieds, accompagnés d'une diminution relative des tiges principales, et surtout de leurs feuilles, beaucoup de nœuds se dénudant (ce qui implique qu'il y a un apport organique lors de la croissance). La part relative des tiges augmente au cours de la croissance, correspondant à un allongement des entre-nœuds. Dans l'ensemble des populations étudiées (aux périodes d'étude), les allocations de biomasses pour la floraison et la fructification sont faibles. Il faut toutefois signaler que la floraison se poursuit jusqu'aux premières gelées, avec une formation des fruits de août à octobre, voire novembre.

Pour Apigné, les différences entre populations sont faibles, alors que la variabilité intra-population est très forte. Toutefois, il semble que les pousses de l'année de l'anse de l'étang A paraissent correspondre à un optimum de développement, ayant les tiges les plus longues, les plus ramifiées, présentant le plus de bourgeons, de fleurs et de fruits et les feuilles les plus allongées. A l'opposé, sur l'étang B où la population est très dense, les pieds sont moins ramifiés, avec des ramifications étiolées et une faible production de fleurs.

Pour Gannedel, les populations de transition correspondent à des stades plus "pionniers" que celles de la zone de bordure, ce qui se traduit par une plus forte allocation de biomasse aux racines qui sont à la fois des racines aérifères et d'ancrage.

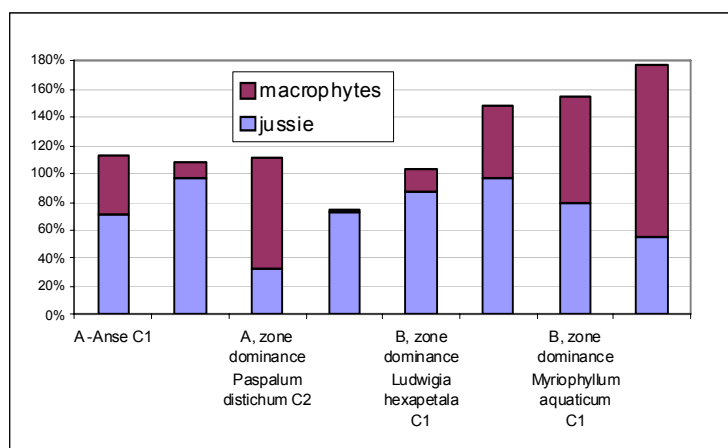
Enfin, pour les deux populations étudiées sur le Don, provenant l'une d'un milieu en eau, l'autre d'une zone émergée, les allocations de biomasses sont également très importantes pour les racines (plus de 40 %) des formes aquatiques

Par ailleurs, les suivis réalisés sur les étangs d'Apigné et dans le Marais de Gannedel (Le Tréis, 2003 ; Ruaux, 2004 ; Coudreuse *et al.*, 2004) ont permis d'évaluer les variations de recouvrement dans ces sites.

Dans les étangs d'Apigné (Figure 12), une stratification de la végétation est nettement observable, des zones sont largement dominées par les herbiers de jussie, comme par exemple

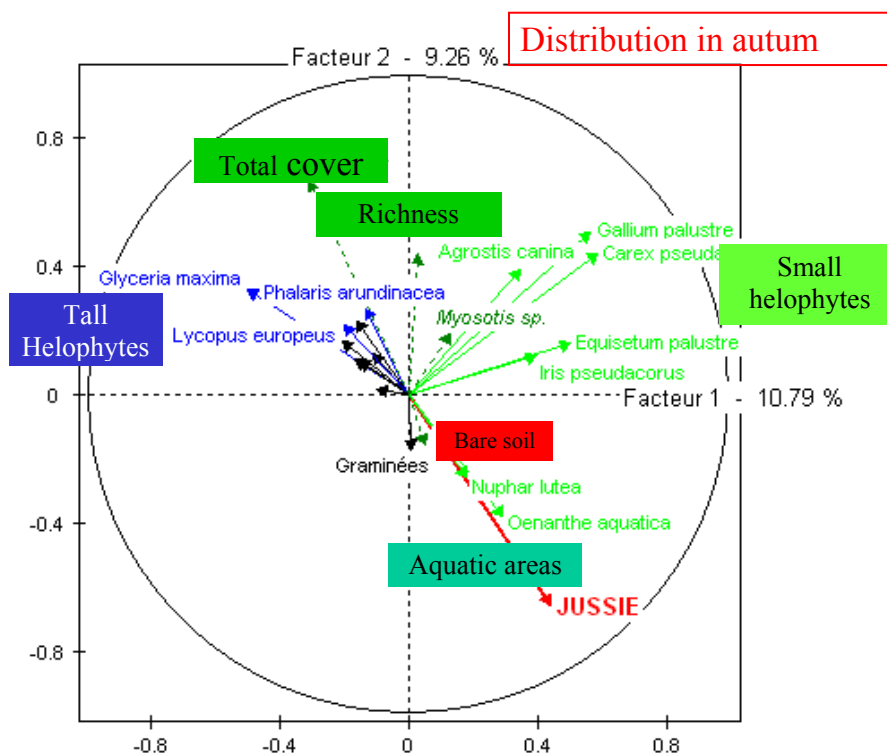
l'anse et une des parties de l'étang A, cette anse et l'étang B étant apparemment les plus favorables ; une zone largement colonisée par le paspale est apparemment la moins favorable aux jussies.

Figure 12: Recouvrements macrophytiques sur les étangs d'Apigné
 5l'anse de l'étang A, la zone à Paspale et la zone sans Paspale de l'étang A, l'étang B (forte colonisation de Jussie), l'étang C (faible colonisation de Jussie, forte colonisation de Myriophylle du Brésil) au printemps (C1 - Juin) et en été (C2 - Août) 2004. (Ruaux, 2004)



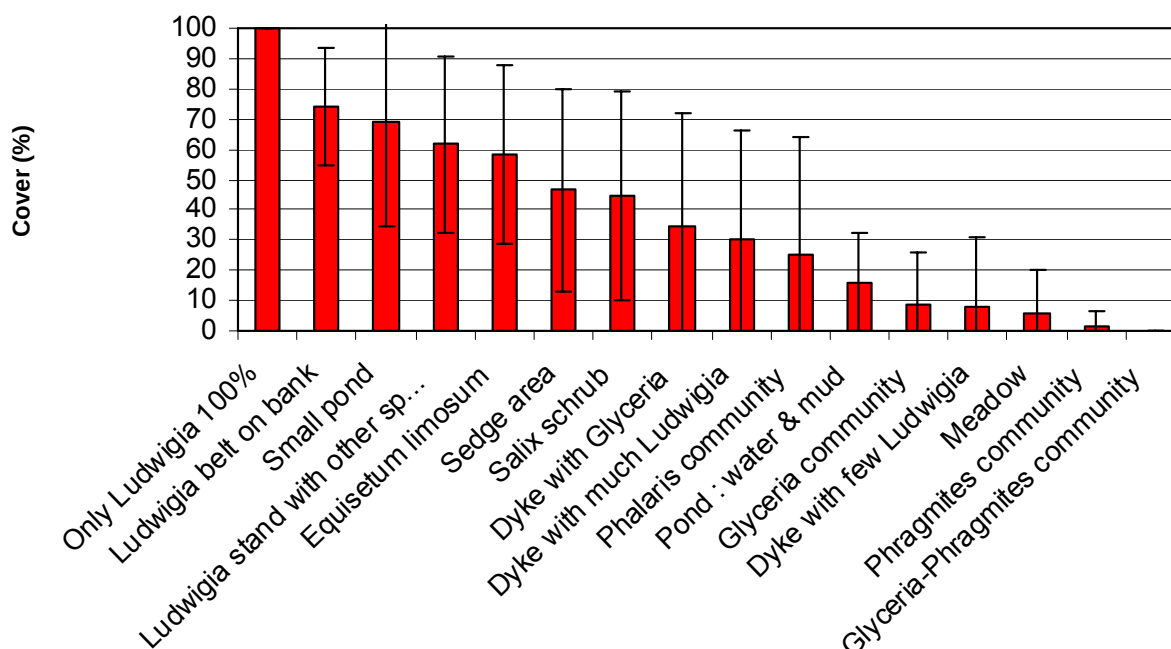
Dans le Marais de Gannedel, en plus des prélèvements destinés aux mesures de biomasse, a été réalisé un recensement des recouvrements de Jussie en fonction des types de formations végétales (par lancer de 20 quadrats de 0,25 m²), (Boyer et al., 2003 ; Haury et al., 2005). La figure 13 traduit les interrelations spécifiques entre les recouvrements de Jussie et ceux des macrophytes du marais..

Figure 13 : Distribution des recouvrements de jussie dans le marais de Gannedel en fonction des recouvrements des autres espèces à l'automne 2003 (Boyer et al., 2003, Haury et al., 2005)



Les recouvrements de Jussie dans les différents types de formations végétales au sein du Marais de Gannedel sont présentés dans la Figure 14.

Figure 14 : Pourcentages de recouvrement dans les différentes formations végétales du marais de Gannedel à l'automne 2003. (Boyer et al., 2003, Haury et al., 2005)



Des différences importantes d'"invasibilité" en fonction des structures et des communautés apparaissent dans ce cas et devraient être plus complètement explorées en fonction des traits biologiques des différents taxons présents.

Notons que les faibles recouvrements observés dans les zones de formations à *Phragmites australis* et à *Glyceria* ont fait l'objet d'observations similaires en ce qui concerne la très faible intensité de colonisation des zones de rives des étangs landais bordées de roselières (Dutartre, 2002) : la densité des tiges des roseaux et leur densité réduit fortement les possibilités d'implantation des boutures de jussies. En revanche, il a été régulièrement observé que les trouées dans ces roselières servent généralement de point de départ de la colonisation pour des pieds qui vont s'installer en rive.

Ces études *in-situ* ont permis d'établir sur ces deux sites une relation entre le recouvrement et la biomasse, soit, pour le site des étangs d'Apigné en 2004 :

$$\text{Biomasse de Jussie} = 16.778 e^{3.261 (\text{Recouvrement de Jussie})}$$

et pour le site du marais de Gannedel en 2003 :

$$\text{Biomasse de Jussie} = 5.03 e^{0.0355 (\text{Recouvrement de Jussie})}$$

Ce type de relation pourrait être d'un grand intérêt pour les gestionnaires, dès lors que ces relations fassent l'objet de détermination sur différents sites et d'une large diffusion, car il pourrait faciliter l'évaluation des masses de jussies à extraire ou à traiter. Par ailleurs, ces

relations devraient être établies en fonction des biovolumes et des biomasses égouttées qui peuvent être relativement facilement à mettre en œuvre sur le terrain alors que les traitements des échantillons permettant d'obtenir des valeurs de biomasses sèches sont réservés à des travaux de recherche.

Reproduction sexuée

Rappelons pour mémoire que le mode de reproduction qui a permis aux deux espèces de jussie de gagner un territoire aussi étendu est leur capacité de reproduction végétative par bouturage des tiges : dès lors qu'il comporte un nœud d'où peuvent se développer feuilles, ramifications et racines adventives, un fragment de tige de quelques centimètres de longueur peut suffire à reconstituer une plante.

En revanche, les informations disponibles sur les capacités de reproduction sexuée des deux taxons avant la mise en œuvre du présent projet étaient relativement disparates et quelquefois contradictoires. Divers tests ont été réalisés au cours du projet sur les capacités de germination des graines des deux taxons et sur la viabilité des plantules produites.

L. peploides produit des fruits de 1 à 2,5 cm de long, contenant chacun une soixantaine (58 ± 4) de graines de 1,5 mm de long environ (Dandelot, 2004). Chaque axe floral engendre une douzaine de capsules et on peut compter de 15 à 20 tiges / m², c'est-à-dire qu'un mètre carré d'herbier génère entre 10 000 et 14000 graines. Selon le même auteur, *L. grandiflora*, sur la façade atlantique, présente des caractéristiques relativement similaires avec des capsules de même taille contenant environ le même nombre de graines d'une taille un peu supérieure et une production estimée d'environ 10 500 graines / m², ce qui est conforme aux estimations de Saint Macary (1998) de 10 000 graines / m².

Selon Dandelot (2004), *L. peploides* se montre très fructifère presque partout en France, alors que la fructification de *L. grandiflora* varie fortement suivant les secteurs. La seule population fertile mise en évidence dans le Sud Est de la France se situe sur l'Orb à Hérépian. Par contre, dans les Landes et en Gironde, ce même taxon fructifie diversement, selon les stations et les sous-populations (fructification nulle à abondante).

Berner (1971) signalait, sans donner de détails complémentaires, que les graines des jussie observées sur les rives du Tarn à Montauban levaient difficilement (96 % d'échecs). Des expérimentations ont été mises en place par Denis CHEYROU, de la Réserve Naturelle des Marais de Bruges (33) en 1998 : ses données (non publiées), sans précision de taxon (les deux sont présents sur la Réserve), donnaient un taux de germination élevé de 94 % (Cheyrou, communication personnelle).

Les tests réalisés sur différents lots de graines de *L. grandiflora* et *L. peploides* par Touzot & Dutartre (2001) ont montré la très grande variabilité des taux de germination des lots de graines : 0 % pour un des lots du Marais d'Orx (*L. grandiflora*) à environ 85 % pour le Marais Poitevin (*L. peploides*), mais tous les sites présentaient des graines capables de germer : 40 à 85 % pour le Marais Poitevin, 5 à 20 % pour le Canal de l'Isle (*L. peploides*), 10 % pour le Petit Etang de Biscarrosse (*L. grandiflora*), 0 à 10 % pour le Marais d'Orx (*L. grandiflora*).

Dans presque tous les cas, la germination a eu lieu dans les 15 premiers jours du test et les taux de germination sont ensuite restés relativement constants.

Le suivi du développement des plantules issues des graines dans ces derniers tests avait démontré leur viabilité dans ces conditions expérimentales.

Tests de germination

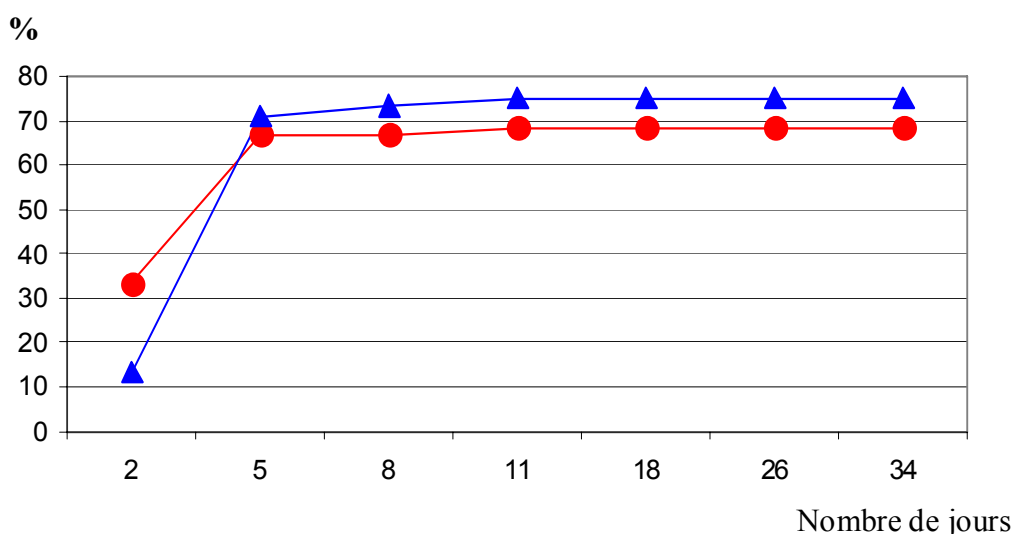
Dans le cadre du projet, les tests de germination sur *L. peploides* effectués par Dandelot (2004) ont donné des taux supérieurs à 60 % dans tous les cas, alors que ceux de *L. grandiflora* n'ont donné aucun résultat.

Il n'en est pas du tout de même pour les résultats obtenus lors des travaux réalisés sur ce second taxon en 2006 par Pouméroutie (2006) : les essais sur différents stocks de graines ont donné des résultats variables mais la plupart du temps positifs.

Seuls les tests réalisés avec des graines conservées à l'état sec depuis les travaux de Charbonnier (1999) n'ont donné aucune germination. Il se peut que les graines aient perdu leur capacité germinative durant cette période. Il est également possible que les conditions de stockage n'aient pas été adéquates : Dandelot (2004) signale en effet que la conservation des graines dans des conditions anaérobies et au froid puis leur arrivée à l'air libre semblent correspondre aux conditions optimales de germination.

La figure 15 présente les résultats de deux tests en mai et juin 2006, réalisés à partir de graines récoltées en 2005 dans deux sites de cette Réserve et conservées dans les conditions décrites par Dandelot.

Figure 15 : Tests de germination sur des graines prélevées en 2005 issues de deux sites de la Réserve Naturelle du Marais d'Orx (Pouméroutie, 2006)



Au deuxième jour, les taux de germination sont déjà respectivement de 12 et 35 %, au cinquième jour de 68 et 71 % et ces taux restent ensuite du même niveau jusqu'à la fin du test. Des courbes similaires, présentant cette très forte germination dès le début du test, avaient été observées sur certains des tests réalisés en 2001 par Touzot et Dutartre (2001) mais sur les échantillons de *L. peploides*.

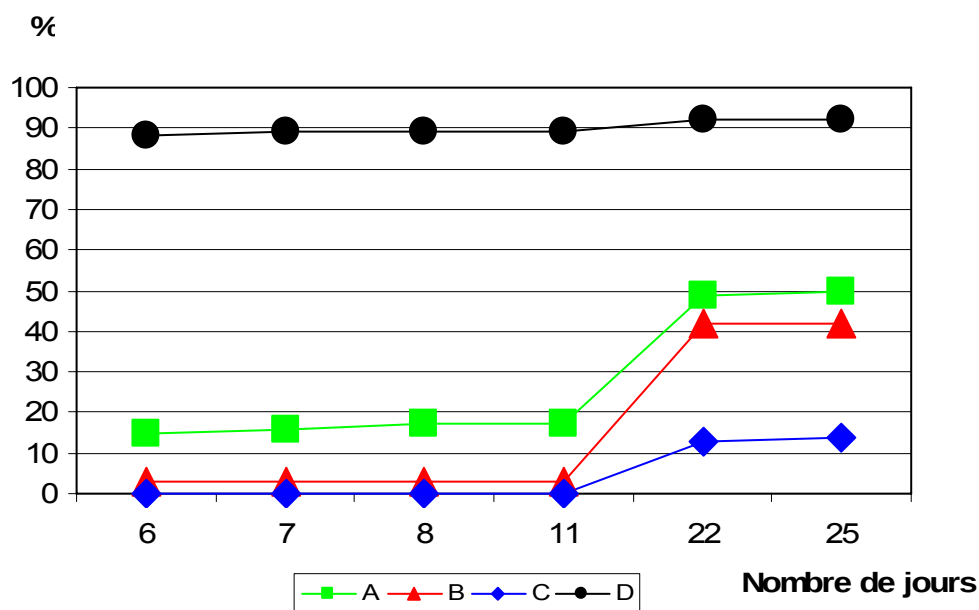
La figure 16 rassemble les résultats de tests pratiqués sur des graines récoltées entre février et mai 2006 dans différents sites de la Réserve. Les conditions de récolte étaient les suivantes : A : fruits submergés ; B : fruits restés au sec durant l'hiver ; C : fruits submergés ; D : fruits restés sur les tiges émergées durant l'hiver). Les échantillons B et C provenaient du même emplacement dans le polder sud de la Réserve.

Les résultats sont très variables, avec des taux de germination en fin de test de 14 à 91 % et

seul l'échantillon D, issu de fruits restés sur des tiges, ayant donc eu à subir les températures hivernales présente la même dynamique de germination que les deux tests de la figure 15, avec un taux maximal presque atteint au sixième jour. Les autres présentent une dynamique décalée dans le temps avec un taux de germination faible durant les 11 premiers jours pour présenter ensuite un palier ; les taux de germination en fin de test de ces trois échantillons varient entre 13 et 50 %.

Figure 16 : Pourcentage de germination des graines en fonction de la date et du lieu de prélèvement (réserve Naturelle du Marais d'Orx, Landes) (Poumérولية, 2006)

(A : Anse des 3 coûts (5/06) ; B : Orx, casier Sud, Pont Noir, (2/06) ; C : Orx, casier Sud, Pont Noir, (2/06) ; D : Orx, casier sud, rive Est (2/06).



Aucune tendance ne se dégage de ces tests : les échantillons restés hors d'eau (B et D), donc plus en contact avec les températures hivernales et ceux restés immergés (A et C) présentent des taux de germination très différents et les deux échantillons (B et C) provenant du même site donnent aussi des résultats très distincts.

Développement des plantules

Des observations de plantules en milieu naturel ont été faites en 2003 et 2004 par certains des participants du projet : ce fut le cas sur certains biotopes rivulaires du lac de Parentis Biscarosse dans les Landes en 2003 et dans une anse du polder central du Marais d'Orx en 2004. Dans le premier cas, ces plantules ont été rapidement étouffées par le développement des boutures de *L. grandiflora* sur le même site ; dans le second, un épisode de fort vent a dispersé les plantules observées en surface des eaux au sein d'un herbier installé depuis plusieurs années (Hoogland, 2004).

Lors de ses prospections de terrain, Dandelot (2004) a pu observer des germinations de *Ludwigia* en milieu naturel de nombreuses plantules de *L. peploides* ont ainsi été recensées au cours de l'été 2003, en bordure des herbiers de Durance et de Camargue (Capellière, Scamandre, Mas de Cure).

Sur le site des étangs d'Apigné, en Bretagne, des germinations de *L. grandiflora* ont été observées au printemps 2004 sur quelques m² (Laffont, 2004) ; à l'automne, la majorité des

jeunes tiges prélevées dans un des échantillons pouvait être issue de ces germinations. Ces observations concernant les germinations et les développements de plantules ne sont pas très surprenantes et ne font que conforter les informations déjà disponibles ; en revanche, les observations réalisées sur les étangs d'Apigné amènent à réviser les connaissances concernant les limites Nord de ces germinations puisque, jusqu'à présent, cette limite avait été positionnée au niveau du cours de la Loire.

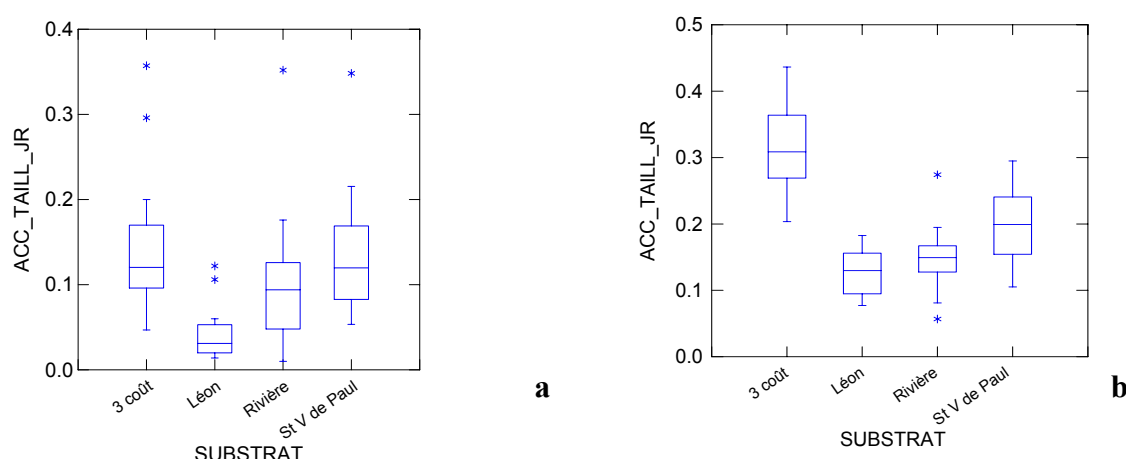
La viabilité des plantules étant apparemment confirmée, il était utile de vérifier quelles étaient les conditions de développement les plus favorables.

Lors des travaux de 2005 (Petelczyc, 2005), des expérimentations ont été réalisées sur le terrain (Réserve Naturelle du Marais d'Orx) et en laboratoire pour tenter de préciser ces conditions. Des germinations de *L. grandiflora* récupérées sur le Marais d'Orx ont été mises en culture et utilisées ensuite pour l'ensemble de ces expérimentations. La mortalité des plantules lors de cette mise en culture a été très faible et certaines d'entre elles ont été gardées d'avril à octobre dans des conditions de laboratoire qui n'étaient pas optimales, ce qui confirme leur relative résistance.

En laboratoire, des mésocosmes ont été installés avec du sédiment de différents sites (Marais d'Orx "3 Coutts", barthes de l'Adour, "Saint Vincent de Paul" et "Rivière" et étang de Léon). Seul le dernier sédiment était à dominante sableuse. Les objectifs de ces expérimentations étaient de déterminer l'influence de la nature du substrat et de la hauteur d'eau sur le développement des plantules. Pour ce second paramètre, les deux modalités étaient substrat couvert d'eau (environ 10 cm) et substrat seulement saturé en eau sans eau surnageante

La figure 17 montre une partie des résultats obtenus sur la croissance des plantules introduites dans ces mésocosmes. Cette croissance a été minimale sur substrat sableux, ce qui était conforme à nos attentes mais le résultat le plus intéressant est la différence de croissance observable entre les deux modalités.

Figure 11 : Accroissements journaliers de la taille en fonction de l'origine du substrat : a : pour la modalité substrat+eau ; b pour la modalité substrat humide (Petelczyc, 2005)



En effet, quel que soit le substrat, les croissances des plantules ont été plus importantes dans la modalité "substrat humide". Le test statistique de Kolmogorov-Smirnov montre qu'il existe bien une différence significative au niveau de l'accroissement journalier de taille des plantules pour chacun des substrats entre les deux modalités (probabilité inférieure à 0,025 au maximum). Les plantules semblent donc mieux croître si elles ne sont pas couvertes d'eau.

Ces observations ont été confirmées par les travaux de Poumérولية (2006) : dans les mésocosmes au substrat humide, les plantules étaient plus nombreuses et de taille plus importante (significativement différentes) que dans les mésocosmes où sédiment et plantules étaient couvertes d'eau : respectivement 136 contre 29 et 2,2 cm en moyenne contre 0,8.

Un autre aspect du développement des plantules est leur position au sein d'herbiers déjà constitués qui pourrait être un important facteur de compétition. Les travaux de Petelczyc (2005) ont également comporté des tests de ces processus de compétition sur le terrain et au laboratoire.

Sur le terrain, dans la Réserve Naturelle du Marais d'Orx, des plantules ont été installées dans des paniers positionnables par rapport au niveau de l'eau. Le sédiment utilisé comme support était du sédiment du site. Quatre modalités ont été testées, l'une portant sur la position par rapport à la ligne de rive ("eau" correspondant à une zone toujours en eau, "berge" à une zone en rive, exondée en été et colonisée à la fois par les jussies et des carex et joncs), l'autre sur l'enlèvement ou non des tiges feuillées de jussie se développant autour puis au dessus du panier et créant ainsi de l'ombrage ("traité" pour enlèvement systématique des tiges feuillées, "non traité" pour absence d'intervention).

Ces tests ont duré environ 2 mois et ont permis de montrer des différences significatives de développement des plantes entre certaines de ces modalités. En particulier, la croissance en taille et en nombre de feuille (Tableau 12) est significativement plus importante dans la modalité "berge" que dans "eau" (test Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$).

Tableau 12 : Accroissement de la taille moyenne des plantules et du nombre moyen de feuilles par jour selon la position du panier et la modalité (Petelczyc, 2005)

Position	Modalité	Accroissement de la taille moyenne (en cm)/ jour	Accroissement du nombre moyen de feuilles / jour
Eau	Traité	0,25	0,55
Eau	Non traité	0,12	0,06
Berge	Traité	0,88	1,61
Berge	Non traité	0,20	0,13

De même, les accroissements journaliers de la taille et du nombre de feuilles sont significativement différents (test K-Wallis) entre modalité et entre position dans le milieu (Tableau 13).

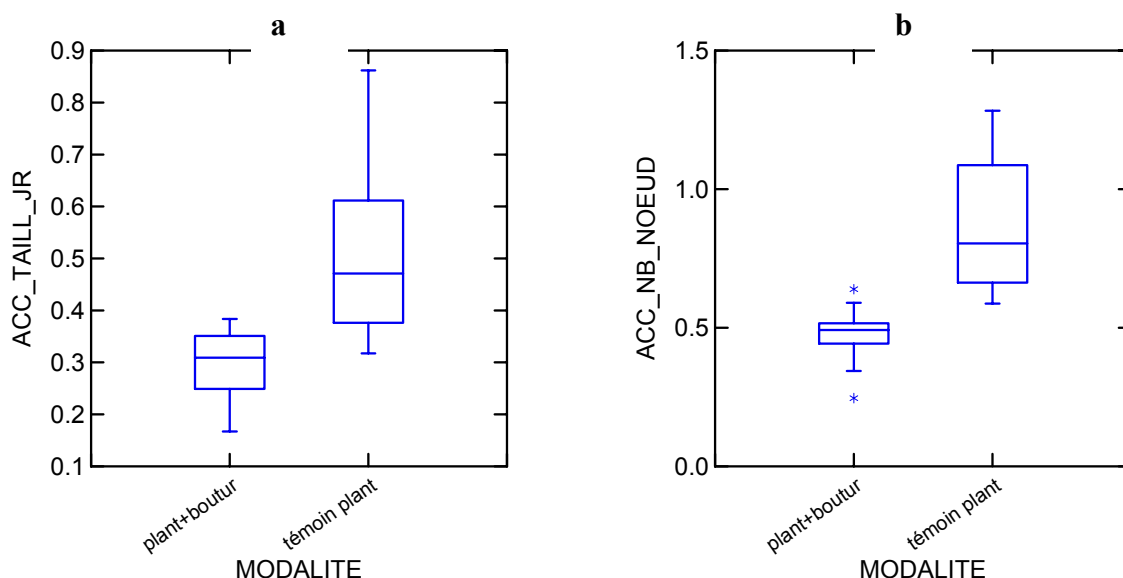
Tableau 13 : Récapitulation des valeurs de p (test K-Wallis) (Petelczyc, 2005)

Modalités comparées	Traité/ Non traité		Berge / Eau	
	Eau	Berge	Traité	Non traité
Accroissement journalier de la taille (cm)	<0,001	0,001	0,002	<0,001
Accroissement journalier du nombre de feuilles	<0,001	<0,001	0,032	0,002

Ainsi les plantules placées au niveau de la berge ont eu un développement plus important que celles en pleine eau, et ce pour les deux modalités, ce qui pourrait correspondre à une meilleure protection contre les vagues dans la zone partiellement colonisée par les hélrophytes. De même, les plantules dans les paniers recouverts par les tiges feuillées des jussies environnantes se développent moins bien que celles situées dans les zones dépourvues de jussie : rien de surprenant mais une confirmation de la difficulté de survie de ces plantules dans de telles conditions.

En laboratoire, les plantules ont été installées dans des mésocosmes avec substrat humide, sans (témoin) ou avec des tiges feuillées (plantules + boutures) pour évaluer l'intensité de la compétition entre ces deux états phénologiques du taxon. 20 plantules et 26 tiges feuillées calibrées ont été installées dans chaque mésocosme. La figure 18 présente les résultats obtenus en utilisant comme critère de développement la longueur moyenne et le nombre de nœuds des plantules.

Figure 18 : Développement des plantules en mésocosmes en fonction des modalités "Témoin" et "plant+ boutur" : a, accroissement journalier de la taille (en cm), b, accroissement journalier du nombre de nœuds (Petelczyc, 2005)



Le test statistique de Kruskal-Wallis confirme que l'accroissement de la taille totale et celui du nombre de nœuds sont significativement différents ($p < 0,001$) entre les plantules témoins, et celles ayant été en compétition avec les boutures.

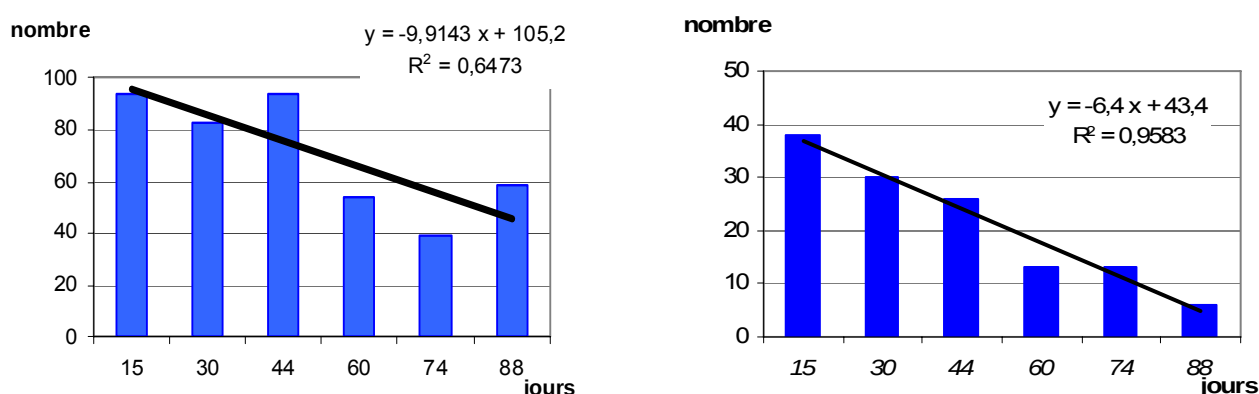
Les deux types de suivis en laboratoire et *in situ* donnent donc la même conclusion : la compétition avec les plantes "adultes" entraîne une diminution significative de la croissance des plantules.

Pour les tests en laboratoire, le substrat utilisé dans les tests étant riche en matières organiques et ses eaux interstitielles riches en nutriments ne semble pas être un facteur limitant de la production de matière. La compétition est due à l'ombrage croissant engendré par le développement des tiges feuillées durant la durée des expérimentations.

Afin de confirmer ces processus de compétition "intra-herbiers" entre plantules et tiges feuillées se développant à partir des tiges de l'année précédente, Pouméroutie (2006) a réalisé des observations de terrain, sur le même site de la Réserve Naturelle du Marais d'Orx, sur des placettes où des plantules en développement avaient été notées en milieu de printemps et des expérimentations de laboratoire.

Sur le terrain, au sein des deux placettes de 1 m² positionnées dans un herbier dense et homogène de *L. grandiflora*, des zones d'observations de 10 cm de diamètre ont été localisées précisément pour y réaliser des comptages des plantules sans perturber le développement des tiges feuillées de la placette. La figure 19 présente les résultats de ces comptages étalés sur près de 3 mois.

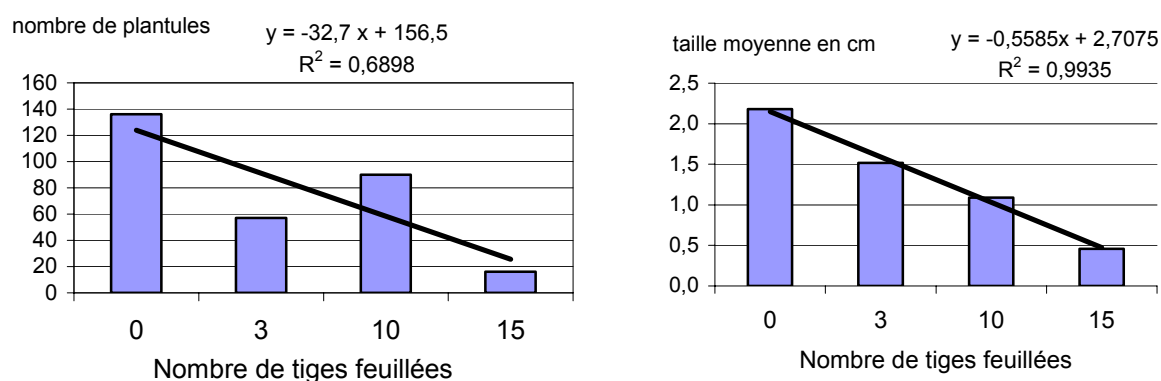
Figure 19 : Evolution du nombre de plantules dans les zones d'observations de deux placettes (Marais d'Orx) (Pouméroutie, 2006)



63 % des plantules initialement comptées sur une des placettes sont donc présentes en fin de suivi alors que 16 % le sont seulement pour l'autre. Les fluctuations des comptages sur la première placette sont liées à la difficulté de ces observations. Les deux évolutions sont relativement différentes mais dans les deux cas la régression du nombre de plantules dans ces situations, dont l'ombrage croît au fur et à mesure que les tiges feuillées se développent, doit conduire à plus ou moins brève échéance à la disparition de ces plantules.

En laboratoire, dans les expérimentations en mésocosmes, les plantules ont été installées avec des nombres croissants de tige feuillées prélevées sur le Marais d'Orx. Les résultats obtenus dans les mésocosmes au substrat humide sont présentés sur la figure 20.

Figure 20 : Relation entre le nombre et la taille moyenne des plantules et le nombre de tiges feuillées dans les mésocosmes (Pouméroutie, 2006)



Les corrélations existant entre le nombre et la taille moyenne des plantules et le nombre de tiges feuillées présentes dans les aquariums au sédiment saturé en eau sont relativement nettes. Ils diminuent nettement avec un nombre croissant de tiges feuillées en compétition dans le mésocosme. Le coefficient de corrélation avec le nombre de tiges feuillées est assez bon (0,69) pour le nombre de plantules, plus élevé (0,99) pour leur taille moyenne

Il y a donc confirmation de la faible probabilité de survie des plantules dans les herbiers déjà constitués de jussies. En revanche, elles semblent tout à fait aptes à survivre dans des conditions hors herbiers, par exemple dans des zones dépourvues de végétation, de préférence sur des sols organiques saturés en eau.

La régénération des herbiers de jussies, via les graines et les plantules, semble donc possible chez les deux espèces de *Ludwigia*, aussi bien en conditions contrôlées qu'*in situ*. Ces résultats contredisent les premières hypothèses de stérilité, notamment pour *L. grandiflora* (Dandelot, 2004).

Il s'agit donc d'un élément extrêmement important pour la gestion de ces taxons car toutes les opérations de régulation de leurs développements devront tenir compte de cette capacité germinative. Même si les taux de germination restent quelquefois assez faibles, le nombre de graines produites par m² d'herbier dense reste suffisamment élevé pour que, potentiellement, des plantules puissent se développer après enlèvement des parties végétatives des jussies dans les sites entretenus.

Les fruits produits flottent temporairement (IIBSN, 2003) et peuvent être transportés par le courant mais tombent ensuite au fond : cette capacité de colonisation de milieux aquatiques interconnectés reste donc possible par ce moyen, même si le transport de propagules viables est plus efficace avec des fragments de tiges.

6 / Compétition

Cette partie du projet a pour objectif de tenter de préciser les modalités et les intensités de compétition entre les jussies et les autres espèces végétales présentes dans les mêmes habitats. Processus souvent présenté comme évidemment gagné par les jussies, plantes aux très grandes capacités de colonisation, de production de biomasse et d'adaptabilité à des conditions très variables de milieu, cette compétition fait partie de l'analyse dynamique indispensable pour renseigner les gestionnaires sur les évolutions probables de colonisation des sites.

6. 1. Aspects méthodologiques

Un ensemble de relevés, s'appuyant sur des quadrats et des profils, a été mis en œuvre sur différents sites. Il est prévu que ces sites seront suivis au moins deux années de suite pour faciliter l'évaluation de la dynamique végétale. Il s'agit d'évaluer l'impact du développement des jussies sur les communautés végétales présentes à l'aide d'une étude diachronique durant la saison de développement des plantes. L'intégration dans la base de données des sites des autres taxa présents dans les mêmes biotopes permettra de déterminer les relations dynamiques existant les jussies et le reste des communautés.

Notons enfin que dans plusieurs des sites retenus pour les suivis d'autres plantes exotiques à caractère envahissant sont aussi présentes, ce qui pourra également éclairer les questions de compétition entre ces différents "envahisseurs" et fournir des informations utiles aux gestionnaires sur la dynamique des biotopes concernés.

6. 2. Résultats et discussion

Les observations souvent citées dans la littérature font généralement état de la suprématie des jussies sur les autres hydrophytes mais les observations en cours permettent déjà de relativiser ces assertions. En effet, dans une part notable des sites étudiés, les jussies coexistent avec d'autres plantes et, même si la durée de cette coexistence n'est pas toujours connue avec précision, il ne semble pas que leur capacité d'exclusion des autres espèces puisse pleinement s'exercer dans des délais très courts.

En milieu naturel

Par exemple, les observations sur l'étang de Léon dans un site faisant l'objet d'arrachages mécaniques et manuels indiquent que les recolonisations végétales sont relativement variées (Hoogland, 2004 ; Dutarte *et al.*, 2004). Sur les 5 profils observés lors de 3 campagnes successives, la fréquence de *L. grandiflora* varie de 1 à 44 %/ Les autres espèces présentes sont deux exotiques, *Lagarosiphon major* et *Myriophyllum aquaticum*, dont les fréquences extrêmes sont respectivement de 22 à 94 % et 4 à 67 %, et trois espèces indigènes : le nénuphar jaune (*Nuphar lutea*) est présent dans trois de ces profils avec des valeurs s'étalant entre 1 et 15 %, les potamogetons *Potamogeton lucens* et *P. crispus* dans un seul profil avec des fréquences maximales respectives de 11 et 1 %. Dans des zones très proches de ces profils, aux caractéristiques de profondeur et de substrats très similaires, une réinstallation de *P. lucens* est observée depuis quelques années (Gérard, 2003) : des pieds isolés de cette plante se développent au sein d'herbiers de jussies de dimensions inférieures au m² et semblent se maintenir dans ces biotopes où la dynamique des eaux (houle, en particulier) est sans doute un frein important au développement des jussies.

D'autres observations, dont celles réalisées sur les sites ligériens (Prost, 2003 ; Héliard, 2004)

et sur le site des Landes d'Apigné (Laffont, 2004) montrent également que les développements de jussies sont sous contrainte des autres constituants des communautés végétales : sur les sables de Loire au niveau de l'habitat élémentaire du *Bidens tripartita*, les jussies sont peu à peu envahies par deux autres espèces exotiques envahissantes, la Lampourde (*Xanthium orientale* L.) et surtout le Paspale à deux épis (*Paspalum distichum* auct. non L.), auxquelles s'ajoutent parfois deux espèces indigènes, la Salicaire commune (*Lythrum salicaria* L.) et la Baldingère (*Phalaris arundinacea* L.).

Le paspale fait également partie des compétiteurs repérés sur les étangs des Landes d'Apigné (Laffont, 2004) où des analyses multivariées ont permis de mettre en évidence des dynamiques de populations différentes entre les espèces présentes dans le site : si *P. distichum* semble être en relation concurrentielle directe avec *Ludwigia grandiflora*, il n'en est pas de même avec *Myriophyllum aquaticum* dont le développement dans le site est apparemment indépendant de celui de la jussie.

Ces processus compétitifs variables entre espèces exotiques présentant a priori des dynamiques fortes de colonisation de nouveaux habitats posent donc de nouvelles questions sur les modalités évolutives des biotopes dans des contextes où les invasions biologiques sont nombreuses.

Les observations de Dandelot (2004) sur des sites du Sud Est de la France montrent que les héliophytes tels que *Typha latifolia* et *Phragmites australis* sont capables de réduire la colonisation des biotopes par les jussies, en occupant progressivement les zones où ces dernières se trouvaient auparavant. Les baisses estivales de niveaux des eaux dans certains sites jouent également un rôle de régulateur de la colonisation par les jussies en facilitant l'implantation en zones asséchées d'héliophytes plus adaptées à ces conditions hydriques temporaires.

Mais d'autres observations donnent des résultats inverses, comme en particulier dans la vallée de l'Erdre, au Nord de Nantes, où les jussies ont colonisés plusieurs dizaines d'hectares de zones de roselières anciennes. Il reste donc difficile de conclure sur cette capacité de compétition, tant les situations rencontrées sont variables ; enfin une autre difficulté est la faible durée des observations : dans de nombreux cas, les modifications au sein des communautés végétales prennent plusieurs années.

En mésocosme

A la suite des expérimentations en rigoles, des essais en mésocosmes sur le site d'Agrocampus à Rennes ont été réalisés pour préciser les effets de la profondeur et pour évaluer la compétition de *L. grandiflora* avec une autre espèce exotique amphibie, *Myriophyllum aquaticum*.

Il s'agissait d'observer l'influence de quelques facteurs biotiques (compétition avec *Myriophyllum aquaticum*) et/ou abiotiques (influence de la profondeur d'eau sur deux modalités : 50 ou 100 cm) sur la croissance et le développement de pousses de l'année (d'une longueur initiale de 50 cm) de *L. grandiflora* en milieu stagnant et clos. Les plantes, provenant des étangs d'Apigné, ont été choisies comme immergées ou traçantes et implantées dans un mélange de sable et de terreau. Le nombre de répétitions de chaque couple de modalités est de 6. Pour l'analyse du facteur compétition, une pousse de l'année de jussie a été implantée avec 10 pousses de tailles équivalentes de Myriophylle. L'expérimentation a consisté en un suivi bimensuel des recouvrements *in situ*, puis des mesures morphométriques et de biomasses des plantes sorties après 21 semaines de croissance.

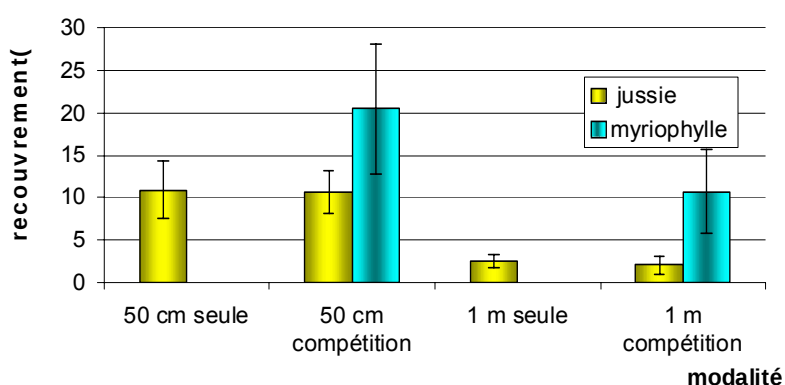
Le suivi bimensuel des recouvrements des plantes met en évidence le facteur profondeur

comme déterminant du développement des jussies, avec une mortalité de 60 % des plantes à 100 cm contre 0 % à 50 cm, sans relation notable avec le facteur compétition. Dans ces milieux plus contraignants, les jussies présentent toujours un développement plus faible, (3 % de recouvrement moyen à 100 cm et 10 % à 50 cm) et leur appareil reproducteur ne se développe pas. Cette constatation est probablement à mettre en lien avec les préférences écologiques de la plante. Le myriophylle a beaucoup mieux supporté cette immersion à 100 cm et n'est mort dans aucun cas. Il semble donc mieux adapté écologiquement aux plus fortes profondeurs et gagne ainsi un avantage compétitif par rapport à la jussie.

Néanmoins, un biais a pu se produire au cours de l'expérience par la mise en place tardive des plantes qui, malgré leur sélection à la récolte (pousses immergées ou traçantes), avaient commencé à développer des débuts de bourgeons floraux. Les plantes des bassins de 100 cm de profondeur se sont donc retrouvées, en début d'expérience, immergées avec plus d'eau au-dessus de leur apex que les plantes des autres bassins. En admettant que les vitesses de croissance aient été identiques, la durée d'immersion des apex des plantes à 1m de profondeur aura donc été plus longue et létale pour une forte proportion des plantes qui s'étaient adaptées à un développement aérien.

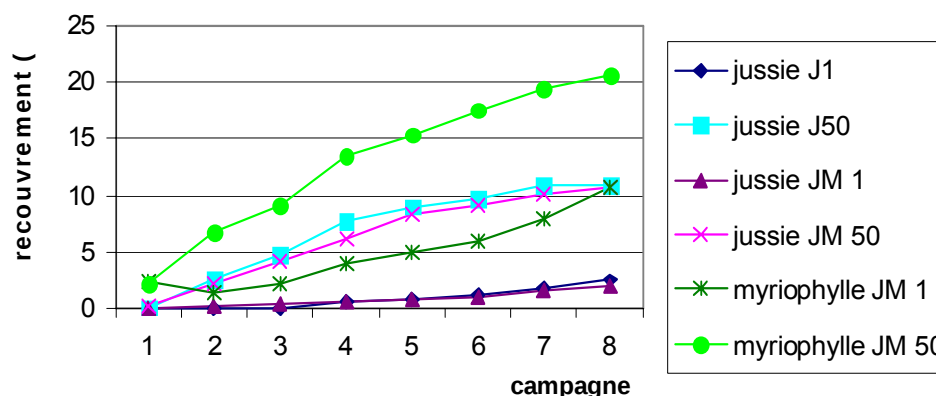
En fin d'expérience, les résultats (Figure 21) confirment l'influence de **la profondeur** sur le développement des jussies, avec des recouvrements à 100 cm significativement (au vu des comparaisons moyennes +/- écart-types) inférieurs ($2,2 \pm 0.9$ %) à ceux des bassins de 50 cm (10.8 ± 2.9 %) ; par contre, il ne semble pas y avoir d'influence de la compétition engendrée par la présence du myriophylle sur le développement de la jussie dans les deux modalités de profondeur, bien que cette dernière ait toujours été dominée en recouvrement.

Figure 21 : Recouvrements moyens des plantes dans les différentes modalités en fin d'expérimentation (les barres d'erreur correspondent aux écarts types)



Néanmoins, au cours du suivi (Figure 22), dans le cas des bassins de 50 cm de profondeur, une légère tendance à la diminution du recouvrement des jussies subissant la compétition par rapport aux jussies seules a été observée.

Figure 22 : Evolution des recouvrements moyens des plantes dans les différentes modalités au cours de l'expérimentation



D'un point de vue phénologie, si l'influence de la modalité profondeur a été observée (absence de développement de l'organe reproducteur dans les bassins de 100 cm), il ne semble pas y avoir d'influence de la compétition concernant le développement des organes reproducteurs. Ce développement n'a pas non plus été influencé par l'orientation des bassins, ni par le recouvrement des plantes. Par contre, il semble y avoir un lien entre l'apparition des feuilles de type longues et l'apparition des bourgeons, fleurs et fruits, directement en lien avec le cycle de développement de la plante, pour lequel la fructification concerne seulement les tiges émergées, les seules à présenter des feuilles longues.

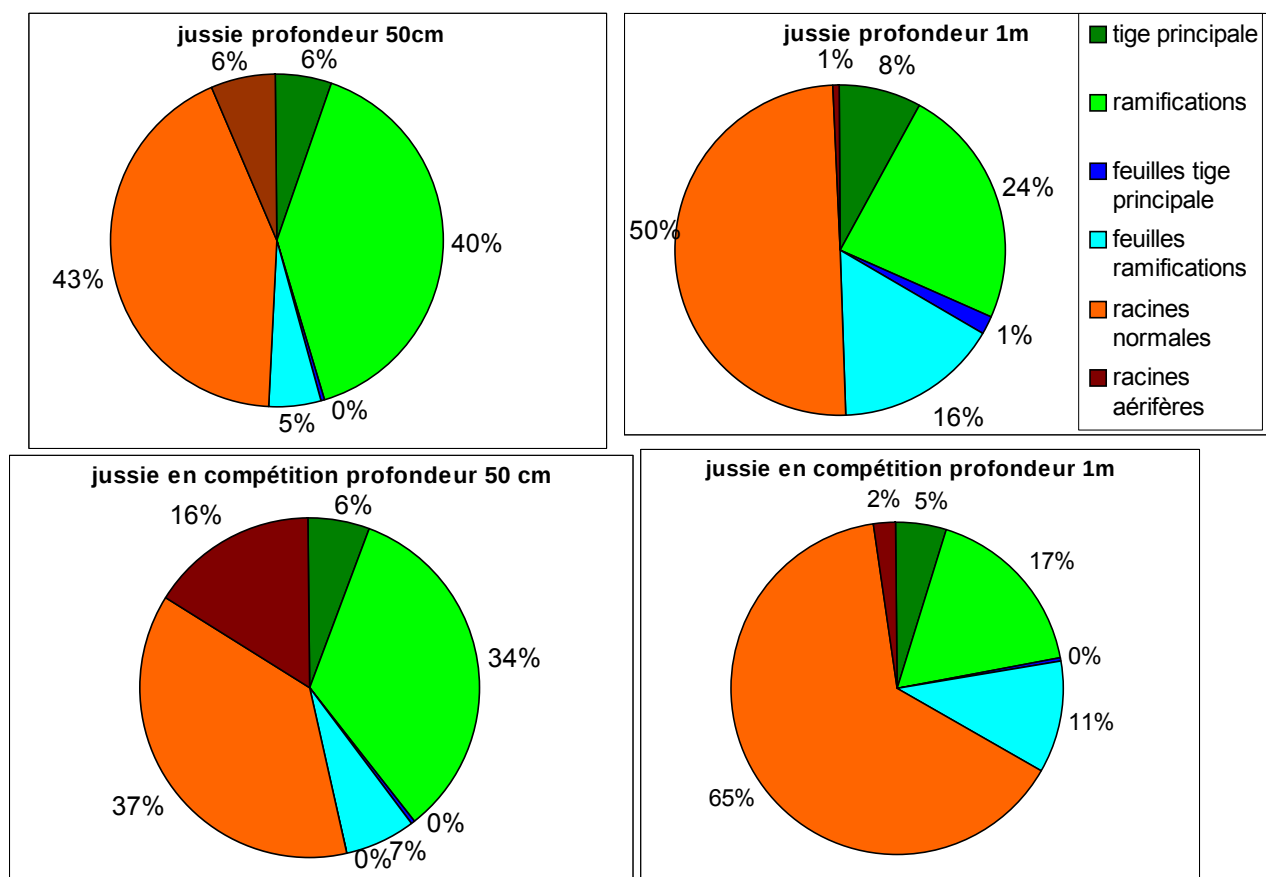
Les études de **morphologie** des individus réalisées n'ont montré des différences significatives (au vu des comparaisons moyennes +/- écart-types) entre plantes moyennes de chaque modalité que pour les longueurs de tiges cumulées pour les plantes aux profondeurs de 50 cm (6500 +/- 2000 cm pour les jussies seules et 6400 +/- 1500 cm pour les jussies en compétition avec le myriophylle) par rapport aux plantes des bassins de 100 cm (2800 +/- 600 cm et 1900 +/- 900 cm), soit des croissances respectives de x74, x73, x32 et x22, sans montrer d'influence de la compétition. Ce résultat est directement en lien avec une baisse significative (au vu des comparaisons moyennes +/- écart-types) du nombre des ramifications secondaires (pour les plantes ayant poussé en compétition dans les profondeurs d'1 m : 110 +/-70 en compétition et 230 +/-10 sans compétition pour 280 +/- 150 aux profondeurs de 100 cm) et tertiaires (absentes dans 33% et 100% des cas pour les plantes avec ou sans compétition aux profondeurs d'1m, pour 0% et 25% des cas de ces plantes des bassins de 50 cm) à laquelle s'ajoute une tendance à la baisse de la longueur des tiges et ramifications. L'influence d'une augmentation de la profondeur se traduit donc par une simplification de l'architecture (en terme de rang des ramifications et nombre) et une diminution des longueurs de tiges.

Les plantes ayant subi la compétition, sans montrer de différences significatives au vu des comparaisons moyennes +/- écart-types, tendent à présenter également une diminution de la longueur des tiges principales et du nombre des ramifications primaires et secondaires, mais accompagnée, *a contrario*, d'une augmentation des longueurs de ces ramifications, probablement dans le but d'atteindre la surface. En terme d'architecture, la tendance est, dans ce cas, plutôt à la complexification par augmentation de la proportion des tiges ramifiées et du nombre de ramifications du rang le plus élevé (effort de ramification réalisé principalement sur les tertiaires). De plus, il est à noter que la compétition tendrait également à entraîner un

effort d'allocation à la reproduction, seuls les individus ayant subi la compétition à 50 cm de profondeur ayant présenté des organes reproducteurs lors des mesures réalisées.

Des analyses de biomasses « différentielles » (poids secs) des différents organes ont été réalisées sur ces plantes, afin d'affiner les réponses morphologiques de la jussie aux différentes conditions mises en place (Figure 23).

Figure 23 : Proportions relatives des poids secs moyens des différents organes selon leur origine des jussies suivant les différentes modalités



L'augmentation de la profondeur induit une diminution de la proportion de poids des ramifications par rapport aux tiges principales, comme il a été observé dans le paragraphe précédent ; une augmentation de la proportion de poids des feuilles (principalement celles liées aux ramifications) au détriment de la proportion de poids des tiges (absence d'effeuillage observé sur les plantes des bassins de 50 cm de profondeurs à morphotype « rampant flottant ») mais également une diminution de la proportion des racines aérifères par rapport aux racines totales (peu de besoin de flottaison, du fait de la faible abondance de ces tiges rampantes-flottantes).

La compétition avec le myriophylle, quant à elle, semble plutôt induire une augmentation de la proportion des racines totales, en lien avec une compétition pour les nutriments.

En conclusion, les résultats de l'expérimentation ne montrent des résultats significativement différents (au vu des comparaisons moyennes +/- écart-types) que pour l'étude du facteur variation de profondeur et ce seulement pour certaines des mesures effectuées. Ceci est à

mettre en lien direct avec la grande phénoplasticité interindividuelle de la jussie. Cette absence de différence notable de développement de pousses de jussie en présence ou absence de compétition avec le myriophylle pourrait être due à une expérience réalisée dans de trop grands volumes, dans lesquels les plantes ne se sont pas gênées mutuellement, n'entraînant pas de réelle compétition pour l'espace disponible.

Les plantes ont réagi à une augmentation de la profondeur par un apparent retard de croissance (développement moins important en recouvrement, simplification de l'architecture, taille des tiges et ramifications réduites, présence de nombreuses feuilles, absence d'organes de reproduction). Les jussies implantées avec le myriophylle ont, quant à elles, intensifié leur développement et utilisé tous leurs atouts pour tenter de gagner la compétition (complexification de l'architecture pour utilisation maximale de l'espace, effort de reproduction sexuée et intensification du système racinaire pour puiser les ressources).

7. Impacts sur l'environnement

Présentées ici pour mémoire car relativement éparées, les informations qui suivent touchent à des thématiques qui devraient faire l'objet de recherche spécifiques pour contribuer à une meilleure évaluation des relations écologiques établies par les jussies dans les multiples habitats qu'elles colonisent.

7. 1. Modifications physico-chimiques du milieu

L'importante tolérance des *Ludwigia* face aux variations des conditions hydrologiques et climatiques, leur grande capacité d'adaptation à divers types d'écosystèmes aquatiques, ainsi que leur forte dynamique de colonisation, les rendent capables d'occuper très rapidement des habitats favorables. Les biomasses produites sont importantes et en automne, lors de la phase de sénescence des rameaux émergés annuels, une importante quantité de matière organique s'accumule dans les habitats stagnants, formant sur le sédiment une litière qui peut représenter jusqu'à 55 % de la biomasse totale (Saint-Macary, 1998). Cette accumulation de matière en décomposition peut entraîner une accélération des processus de sédimentation pouvant être relativement préoccupant dans les zones humides et les plans d'eau peu profonds où à terme il est possible d'aboutir à un comblement total de ces habitats.

Le développement des herbiers à *Ludwigia* provoque généralement une diminution du pH par rapport à la pleine eau. On observe également des conditions hypoxiques diurnes en été avec des concentrations en oxygène dissous souvent inférieures à 1 mg.L⁻¹. Ce phénomène peut être mis en relation avec la minéralisation intense de la matière organique accumulée dans les sédiments, le réchauffement de l'eau et la forte couverture végétale. Les conditions hypoxiques voire anoxiques (diurnes, estivales) correspondent à un milieu devenu hostile à la vie aquatique aérobie.

Par exemple, dans les travaux de Dandelot (2004), ce qui s'apparentait à une crise dystrophique (définie comme une réaction violente d'un écosystème saturé par l'accumulation de matières organiques végétales) était observable au sein d'un herbier à *L. grandiflora* sur la rivière Siagne dans les Alpes-Maritimes). En effet, en présence de sulfates, l'accumulation de matière organique corrélée à une chute brutale des concentrations en oxygène dissous provoque la prolifération de bactéries sulfato-réductrices. On assiste alors à une surproduction de sulfures qui s'accumulent dans le sédiment pour ensuite diffuser dans toute la colonne d'eau (Dandelot *et al.*, 2005). Dès l'anoxie et la présence de sulfures dans la colonne d'eau, la

mortalité des organismes devient importante et des mortalités de poissons peuvent s'ensuivre. Une concentration de 1 ppm de sulfures dans l'eau est considérée comme toxique pour les animaux, car ce composé réagit avec les groupements métalliques des systèmes cytochromes et d'autres molécules comportant des éléments métalliques. Les fortes teneurs en sulfures mesurées dans la Siagne témoignent d'une importante intoxication du milieu.

7. 2. Relations avec les autres producteurs primaires

Un certain nombre de macroalgues se développent au sein des herbiers de *Ludwigia*. Plusieurs espèces appartenant aux genres *Spirogyra* Link., *Mougeotia* Agardh, *Zygnema* Agardh, *Melosira* Agardh *Diatoma* Bory et *Cladophora* Kützting ont été par exemple identifiées au sein des herbiers du Sud-est de la France (Dandelot, 2004).

En ce qui concerne les macrophytes, la prolifération des *Ludwigia* provoque fréquemment une forte réduction locale de la biodiversité floristique. Les *Ludwigia* envahissent généralement très vite tout l'espace disponible en créant des herbiers quasi monospécifiques. Certains hydrophytes cohabitent parfois avec les *Ludwigia*, mais restent toujours sous représentés comme par exemples *Ceratophyllum demersum*, *Nasturtium officinale*, *Ranunculus spp.*, *Scirpus spp.*, *Nuphar lutea*, etc.. Seuls quelques héliophytes très robustes montrent un réel caractère compétiteur dans certains secteurs exondés : *Typha latifolia*, *Phragmites australis* ou *Glyceria maxima*.

A l'occasion des travaux de Dandelot (2004), des phénomènes d'allélopathie. Elle est définie comme tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante (y compris les micro-organismes) sur une autre à travers la production de composés libérés dans l'environnement (Rice, 1984). Les *Ludwigia* contiennent de très nombreux composés possédant de multiples propriétés, notamment médicinales : saponines, flavonoïdes (Averett *et al.*, 1990), acides gras (Zygadlo, 1994), triterpènes (Chang *et al.*, 2004) etc.. De plus, certaines caractéristiques écologiques de ces invasives nous incitent à penser que plusieurs de leurs métabolites secondaires pourraient avoir des effets allélopathiques sur d'autres organismes. Tout d'abord, les animaux évitent de les consommer et peu d'hydrophytes cohabitent avec les *Ludwigia* au sein de ces herbiers plus ou moins monospécifiques. De plus, on observe des substances huileuses, apparemment excrétées par les poils, l'épiderme, les stipules et les minifeuilles des tiges émergées qui se répandent quelquefois à la surface de l'eau et forment des taches irisées. Enfin, au moins cinq composés de types flavonoïdes communs aux deux taxons étudiés ont été mis en évidence, dont la Myricétine et la Quercétine (Dandelot, 2004). Les premiers résultats de tests de germination de deux espèces cibles (*Lactuca sativa* et *Nasturtium officinale*) indiquent que les 2 taxons de *Ludwigia* ont des effets allélopathiques notables sur la germination et la croissance des plantules (Dandelot, 2004).

7. 3. Relations avec la faune

Différentes observations ont pu être faites sur les communautés d'invertébrés peuplant les herbiers de jussies. Parmi ces organismes, les Oligochètes, organismes appartenant au groupe fonctionnel des décomposeurs, constituent une part importante de ces communautés. L'existence de nombreux Gastéropodes (*Potamopyrgus jenkinsi*, *Lymnea truncatula*, *Lymnea peregra*, *Physa fontinalis*, *Gyraulus laevis* et *Succinea putris*) dans l'herbier à *L. grandiflora* de la Frayère (Alpes-Maritimes) indiquent que les tissus de jussies peuvent être consommés par ces mollusques (Dandelot, 2004). Les différents herbiers sont également peuplés de nombreux Odonates (*Caenis luctuosa* sur la Siagne), Ephémères (*Ephemera danica* sur la Siagne), Trichoptères (*Limnephilus rhombicus* sur la Durance) et Coléoptères (*Stenelmis*

canaliculata, *Oulimnius troglodytes*, *Elmis maugetii*, *Helicus substriatus* sur la Frayère). Diverses observations font également état d'une forte fréquentation des herbiers en fleurs par des abeilles.

Enfin, lors des travaux de Petelczyc (2005) sur le Marais d'Orx, *Altica lythri* AUBE, un Coléoptère Chrysomelidae dont les larves et les adultes sont phytophages, a été observé et des individus prélevés dans deux sites d'herbiers denses de *L. grandiflora*. Une étude en laboratoire sur la consommation de la jussie par ce coléoptère a été réalisée qui a montré que cette consommation était notable dans ces conditions (Petelczyc *et al.*, 2006). En revanche elle reste non significative en milieu naturel. D'autres observations sur ce phytophage non spécifique ont été faites dans d'autres sites comme les marais endigué de Mazerolles (Loire Atlantique) (Cédric Barguil, communication personnelle).

La présence de certains vertébrés (grenouilles, poissons, oiseaux, mammifères) se déplaçant au sein des herbiers témoigne aussi d'une possibilité d'hébergement pour la macrofaune à certaines périodes de l'année.

8. Approche ethnobotanique et dimension sociologique de la gestion

8. 1. Aspects méthodologiques

Ce travail s'est inspiré du courant méthodologique de l'anthropologie symétrique, élaboré notamment par B. Latour (1994) et M. Callon (1986). Il explore plus particulièrement les modalités des relations qui se mettent en place entre les scientifiques et la société civile et les modalités de partage des attributions entre scientifiques et non-scientifiques dans la mise en place d'actions contre la jussie, il s'interroge aussi sur les relations entre la technique et les aspects sociaux et culturels.

Les méthodes d'investigation appliquées sont celles classiquement mises au point en ethnobotanique, c'est à dire : mises à jour des systèmes de classification, recensement des usages liés au milieu naturel et à la jussie, inventaire des discours tenus sur l'une et l'autre, reconnaissance des pratiques engagées par les populations humaines envers le milieu, en relation avec la présence de la jussie.

Les investigations ont été menées entre le printemps 2003 et l'été 2004 selon des techniques qualitatives: observations de terrain et réalisation d'entretiens spécifiques semi-directifs en accompagnant les différents acteurs sur le terrain..

8. 2. Résultats et discussion

Le problème des invasions biologiques confronte un taxon, ici les jussies, en l'occurrence, à un territoire. En fonction de ses caractéristiques écologiques, la plante pénètre dans ces territoires, et parfois les bouleverse, ce qui favorise la mise en relief de certaines manières de faire, d'être et d'être en relations dans ces espaces spécifiques. Dès lors, une espèce appartenant au monde botanique s'inscrit dans un monde écologique, mais aussi dans un monde social. A la croisée de ces deux mondes, à l'interface du milieu et du social, elle participe à l'histoire et à la sociologie de ces lieux. A travers une approche ethnobotanique, ont été explorées les relations que les jussies entretiennent avec les territoires concernés et les acteurs qui vivent sur ce territoire et en font usage.

L'un des objectifs était d'observer les modalités de perception et de représentations dont la plante est l'objet de la part des acteurs sociaux, en lien avec les caractéristiques des territoires et des acteurs. L'objectif en est de mieux comprendre de quelle manière ces acteurs perçoivent la plante, de quelle manière elle interagit avec les usages dont le territoire est l'objet, afin de mieux cerner les freins et les leviers à la mise en place d'actions de gestion.

La mise en place d'actions de gestion des jussies s'avère souvent complexe et pas toujours opératoire. Une partie de la discussion porte sur le choix des techniques les plus adéquates pour traiter le problème. Cependant, nous avons posé l'hypothèse que l'efficacité des actions menées n'est pas seulement liée à l'efficacité des techniques, mais aussi à la manière dont s'organisent les acteurs sociaux. En outre, le choix des techniques s'avère parfois problématique, et les préconisations "rationnelles" émises par les scientifiques pas toujours entendues par les acteurs, qu'ils soient usagers ou gestionnaires, quand elles entrent en contradiction avec les représentations dont les techniques utilisées sont l'objet.

Une partie des investigations a donc porté sur la manière dont les différentes catégories d'acteurs perçoivent et se représentent les techniques utilisées. Un des points importants des investigations porte sur les modalités d'échange entre les acteurs, notamment les scientifiques et les "profanes", et sur la manière dont circulent les connaissances disponibles nécessaires à la gestion du problème. La prolifération des jussies induit de mettre en place des modalités de gestion de la plante, qui sont discutées par les scientifiques, les gestionnaires, mais aussi les usagers, les élus, les associations de protection de la nature, les administrations. Ce problème soulève des questions à propos des attentes envers la "science" pour résoudre le problème, et le décalage entre les représentations dont elle est l'objet et les incertitudes dont la démarche scientifique est l'objet. La prolifération des jussies soulève aussi le problème de la confrontation entre connaissances scientifiques et savoirs "profanes" (dont il conviendra de préciser le statut, savoirs populaires, connaissances, représentations ?). Les travaux de Latour (1994) et Callon (1986) notamment, sont utilisés pour alimenter les analyses à ce propos.

Une autre partie portait sur la manière dont ces acteurs s'organisent pour tenter de résoudre le problème, par quelles modalités peuvent se mettre en place des actions coordonnées et efficaces contre la plante. En effet, les caractéristiques des jussies font que des actions individuelles s'avèrent peu pertinentes et efficaces, mais induisent que soient définies des modalités d'actions collectives qui impliquent différentes catégories d'acteurs sociaux.

Les sites

Pour mener à bien ces investigations, le choix des terrains d'étude s'est porté sur trois zones : les marais de Vilaine, le marais Poitevin, les Landes et en particulier les étangs littoraux d'eaux douces de ce département. L'intérêt du choix de ces sites est que les jussies y sont apparues à des époques différentes et que la mise en place de solutions est rendue à des stades différents dans ces différents sites. Par exemple, dans les Landes, des actions ont été entreprises depuis plus de 10 ans, alors que dans les marais de Vilaine, les acteurs n'ont commencé à chercher des solutions que depuis peu.

Les solutions mises en œuvre diffèrent d'un site à l'autre, notamment en matière d'organisation, permettant une comparaison intéressante entre, par exemple, les modalités d'organisations mises en place dans le marais Poitevin, plutôt centralisées, et celles mises en place dans les Landes, où le travail est délégué aux acteurs locaux. Ces trois sites permettent en outre d'opérer une comparaison dans la manière dont le problème jussies interagit avec les problématiques en vigueur dans chacun des sites (qualité de l'eau, gestion hydraulique, usage des sites...).

Les interlocuteurs

Les premières investigations de terrains ont porté sur les marais de Vilaine. Dans ce site, entre le printemps et l'automne 2003, une trentaine d'entretiens ont été réalisés avec différentes catégories d'acteurs :

Les personnes rencontrées ont été : pêcheurs (3), chasseurs (2), élus (3), scientifique (2), gestionnaires (2 techniciens de syndicat de rivière, 1 employée de la maison des Marais, 3 personnes du Comité des marais, scientifique de l'Institut d'Aménagement de la Vilaine, responsables des Fédérations de pêche et de chasse, d'associations de pêche, quelques habitants, agriculteurs (3), propriétaires de sites colonisés (2), Office du Tourisme, loueur de canoë, responsable d'association d'insertion.

Nous avons aussi participé à des actions de terrains (journée d'arrachage, réunions pour la mise en place de la cartographie).

Des investigations ont ensuite été réalisées dans le Marais Poitevin, essentiellement par des entretiens avec des acteurs des organismes gestionnaires. Les stagiaires du projet ont participé à ces entretiens. L'objectif en était de comprendre comment sont organisées les actions de gestion dans cette région, où des actions efficaces sont menées sur une partie des marais (marais mouillés). 4 entretiens ont été réalisés : avec le responsable des actions de gestion de l'Institut Interdépartemental du Bassin de la Sèvre Niortaise, avec les personnes de l'UNIMA, un ingénieur du Syndicat du Parc, une personne du Forum des Marais Atlantiques.

Une semaine d'investigations de terrain a été menée dans les Landes : participation à une journée de formation sur les jussies et les autres plantes exotiques envahissantes dans les lacs et étangs du littoral organisée par le Cemagref et le Conseil Général, réalisation d'une dizaine d'entretiens (deux responsables d'associations de pêcheurs et deux pêcheurs, coordinateur des actions au Conseil Général, un élu, deux gardes natures de la réserve d'Orx et des Barthes de l'Adour, technicien sur l'étang de Garros, directeur de la Réserve du Courant d'Huchet, un garde de la Fédération de Chasse.

La gestion du problème des jussies, ou plutôt, selon certains, son manque de gestion ou sa gestion inadaptée, pose la question du type de relations sociales entretenues par les différentes catégories d'acteurs. On peut alors poser la question du mode de gestion collectif de ces plantes, notamment au regard de l'évolution des modalités de gestion collective et/ou individuelle de ces zones de marais et de ces cours d'eau et plans d'eau. Posée en d'autres termes, on peut se demander comment gérer le fait que les jussies ne connaissent pas les frontières territoriales établies, frontières administratives entre plusieurs territoires, frontières entre le privé et le public, que la logique de développement des jussies se joue des "logiques" de gestion des territoires concernés .

Quand les jussies s'imbriquent et interagissent avec les problématiques locales

Les proliférations des jussies posent la question des modes de gestion et des usages dont les sites concernés sont l'objet. Dans plusieurs sites, le problème jussie est en débat avec la question d'une exploitation intensive des zones humides, notamment par la culture du maïs. Pour certains, débattre du choix de la méthode chimique ou non pour traiter les jussies renvoie alors au débat lié à la culture ou non du maïs dans les zones humides.

La question des jussies s'immisce aussi dans les problèmes liés au comblement des zones humides, qu'il s'agisse d'étangs comme dans les Landes, ou bien de rivières, comme la rivière du Don en Bretagne, à cause des grandes quantités de matières organiques qu'elles produisent. Dans la plupart des sites, elles sont intégrées à l'histoire locale par les usagers et des riverains. La question de la gestion du problème engage à chaque fois un débat sur les méthodes à utiliser ou non, sur qui doit gérer le problème et avec quels moyens. Dans de nombreux sites,

les controverses entre les différentes catégories d'acteurs portent d'ailleurs sur la question d'utiliser ou non des herbicides pour résoudre le problème et sur l'efficacité supposée de ces produits.

Enfin, le problème jussies s'inscrit de manière hiérarchique dans les problématiques locales, mais il n'est pas forcément perçu de manière prioritaire en termes de risques et de problèmes par les acteurs concernés.

Marais de Vilaine

Inscrite dans l'histoire des marais et des zones humides, la prolifération des jussies s'intègre dans des problématiques générales liées aux marais qu'on peut résumer comme suit : la culture intensive du maïs, l'abandon du marais. Les jussies prolifèrent dans des espaces qui ne sont plus soumis à un entretien régulier, ou en tout cas à un entretien adéquat, à une pression anthropique permettant de conserver au territoire son caractère de marais, tel qu'il est implicitement défini : un espace ouvert.

Si auparavant la gestion des marais et des zones humides était le fait des populations qui vivaient là, et qui tiraient une partie de leurs ressources des zones de marais, ce n'est plus le cas aujourd'hui. D'un côté, on observe un relatif abandon de ces zones de marais, qui ne sont plus guère l'objet de l'attention et de l'entretien des populations locales et des usagers, de l'autre, on observe une prise en charge de ces zones par des organismes administratifs et par certaines institutions.

En lien avec ce transfert de responsabilité, des défauts de gestion se font jour, dans les interstices desquels, selon les personnes rencontrées, les saules, les roseaux, mais aussi la jussie prendraient place.

Rivière du Don (affluent de la Vilaine)

Pour plusieurs personnes interrogées, la prolifération des jussies n'est qu'un symptôme d'un entretien inadéquat de la rivière. Il est notamment constaté un envasement, un défaut de curage depuis une trentaine d'année, contexte favorable à la prolifération des jussies. Les plantes se présentent alors comme étant un révélateur des pratiques actuelles ayant cours dans ces territoires, de l'intérêt ou du désintérêt dont ces zones sont l'objet. Elles mettent aussi en exergue la logique, ou l'illogisme des pratiques actuelles de gestion de ces zones.

Marais d'Orx (Landes)

Les jussies ne sont pas les seules plantes exotiques proliférantes dans ce département mais elles y sont celles qui présentent la plus forte dynamique dans différents secteurs de zones humides comme les lacs ou étangs littoraux tels que les Etang Blanc, Etang Noir, étang d'Aureilhan, les Barthes de l'Adour ou la Réserve Naturelle du Marais d'Orx.

Le marais d'Orx occupe une superficie d'environ 1000 hectares au sein d'une cuvette blottie à quelques kilomètres en arrière du littoral du Golfe de Gascogne, au pied de la frange dunaire des Landes. Jusqu'au 19^e siècle, ce site avait échappé aux tentatives de domestication de la part de l'homme. Au 19^e siècle, ce site va être mis en valeur, les terres asséchées, et passer de l'état de « terre sauvage » à celui de domaine cultivé. Cet essor agricole va se poursuivre jusqu'aux années 70 mais la déprise agricole puis la dégradation de certaines parties du marais provoquent son abandon en 1984. Ces terres ont été rachetées par le Conservatoire du Littoral en 1989, et ont acquis le statut de réserve naturelle en 1994. La prolifération de la jussie s'inscrit dans ce contexte.

L'histoire de la jussie est comprise à travers l'histoire du site et ferait partie intégrante de cette histoire : pour les uns, sa présence est due à l'histoire agricole intensive de ce site, pour d'autres, notamment les usagers et les riverains, sa présence est due à la transformation du site en réserve naturelle. La contestation contre la réserve naturelle semble se nourrir de la

présence importante de la jussie, et enrichir les discours contre les pratiques de protection de l'environnement, comme la jussie se nourrirait des nitrates hérités de la période de culture intensive.

La question des savoirs et de leur transmission

L'arrachage de la jussie s'inscrit dans une chaîne opératoire, un ensemble d'opérations qui nécessite de posséder un certain nombre de connaissances. L'erreur à éviter est peut-être de penser que traiter la jussie, c'est quelque chose de facile, et qu'on peut le faire sans y penser. Les actions de gestion induisent de fait des connaissances et des savoirs sur les relations entre acteurs, sur le milieu et aussi sur les plantes et leur mode de fonctionnement.

Les questions qui émergent sont relatives aux modalités de répartition des compétences des différentes catégories d'acteurs, au partage des responsabilités de la gestion à mettre en œuvre et à l'acquisition et la diffusion des connaissances.

La répartition des compétences

La jussie est-elle affaire de profanes ou bien de spécialistes ? Du point de vue de beaucoup, la gestion de la prolifération de la jussie est un problème qui est du ressort des professionnels. D'ailleurs, ceux-ci se plaisent à souligner le caractère non évident de mise en place de techniques d'arrachages ne favorisant pas sa dissémination.

Les compétences des acteurs telles qu'elles sont définies sont aussi en interaction avec les caractéristiques de la hiérarchie sociale.

Le travail d'arrachage, de désherbage, en soi, n'est guère valorisé, et est plutôt l'apanage des employés déployés à l'entretien des espaces. Ces tâches sont parmi les plus bas classées dans la hiérarchie socioprofessionnelle. De fait, les travaux d'arrachage des jussies peuvent apparaître comme étant peu valorisées et peu valorisantes. Cependant, on voit se développer un autre phénomène, et une certaine considération se développer envers cette tâche jugée ingrate et plutôt dévalorisante. Celle-ci passe entre autre par la création d'une catégorie professionnelle transversale, celle "d'intello manuelle".

Qui doit s'occuper de la jussie ?

Les caractéristiques des jussies font aussi s'interroger sur les acteurs qui seraient les plus à même de s'occuper de la plante. Est-ce un simple travail d'arrachage, une opération de nettoyage accessible à tout le monde, un travail qu'on peut réserver à ceux qui ne savent rien faire d'autres ? Parmi ces acteurs on peut distinguer les spécialistes des non-spécialistes.

Le non-spécialiste va souvent utiliser la solution la plus immédiatement disponible : arrachage à la main, ou bien désherbage à l'aide de produits chimiques. Il prend en compte un aspect du problème : pouvoir résoudre rapidement ce qui est une entrave à certaines activités, sans nécessairement envisager le plus long terme.

Le spécialiste, quant à lui, prendra un certain nombre de précautions avant d'arracher la plante pour tenter de préserver le futur. La "lutte" contre les jussies n'est pas quelque chose qui s'improvise, mais qui au contraire nécessite de prendre certaines précautions, comme par exemple arracher les racines en même temps de que la plante, bien nettoyer tout le matériel afin de ne pas favoriser la dissémination, ne pas laisser les plantes à proximité de l'eau, auquel cas elles vont à nouveau s'enraciner, etc.

La nécessité d'acquérir des savoirs

Traiter le problème de la jussie ne s'improvise pas, sous peine de voir rapidement réapparaître le problème, et d'une ampleur encore plus grande.

La question de la circulation des connaissances est importante afin de mettre en place une gestion optimale du problème de la prolifération de la plante.

Les préconisations des acteurs "spécialistes" ne sont pas forcément respectées parce que pas

forcément connues et tous les acteurs participant à la gestion des jussies n'ont pas forcément accès aux informations rendues disponibles.

Une gestion efficace du problème implique de connaître les caractéristiques de développement de ces plantes et des manières dont elles prolifèrent. Les spécialistes et les gestionnaires s'accordent d'ailleurs à dire qu'il vaut mieux ne rien faire que mal faire les choses. Ceux qui interviennent concrètement sur les jussies doivent avoir ces connaissances minimales afin d'éviter l'aggravation du problème : éviter la production de boutures, ne pas stocker la plante dans une zone inondable.

Par ailleurs, l'arrachage des jussies peut endommager les plantes présentes à proximité, dont certaines peuvent être protégées. De fait, ramasser ces plantes induit des connaissances minimales en matière de flore aquatique : savoir les reconnaître et les différencier des autres plantes, savoir les arracher tout en préservant ce qu'il y a à conserver.

Il est intéressant d'observer de quelle manière circulent les connaissances relatives aux jussies, aux plantes aquatiques et au milieu, notamment les connaissances issues de la recherche scientifique et technique, et de s'interroger sur les freins à la diffusion de ces connaissances.

9 / Approche économique

9. 1. Aspects méthodologiques

Le volet économique de ce programme avait pour but de faire le lien entre les différents niveaux d'analyse, car la conception d'une politique économique de gestion de la jussie fait nécessairement appel à une approche interdisciplinaire intégrant des données sur :

- la typologie des biotopes colonisés et les mécanismes d'invasion,
- le recensement des usages dans le temps et dans l'espace et le ressenti envers les modes de gestion mis en place,
- les stratégies de gestion et notamment l'efficacité et les coûts des techniques de gestion utilisées et utilisables, les suivis d'interventions et d'expérimentations.

Une double démarche a été mise en œuvre :

- une démarche théorique dans laquelle un modèle économique permettant d'aborder le phénomène des proliférations de jussies sous l'angle de l'analyse coût-bénéfice a été construit. Il s'agissait de formaliser les caractéristiques de cette invasion biologique et d'élaborer une construction mathématique cherchant des niveaux de gestion optimaux,
- une démarche empirique du phénomène de prolifération en collectant à l'aide d'une enquête des données issues des expériences de gestion déjà réalisées à l'échelle nationale. Elle avait pour but d'estimer la validité du modèle économique dans des cas réels.

Les analyses économiques ont donc été réalisées en utilisant les résultats de l'enquête fournis par les opérateurs de terrain partenaires du projet ; elles se sont appuyées sur :

- les coûts correspondant aux différentes méthodes de gestion, et ceci en fonction des caractéristiques des sites et des opérateurs. Différentes données de caractérisations des sites et de coûts sont disponibles chez des gestionnaires déjà engagés de manière régulière et organisée dans des activités de régulation des jussies et qui font partie des interlocuteurs identifiés du projet. D'autres données issues directement des travaux engagés par les participants au projet ont également été intégrées au corpus de base de ces analyses.
- les dommages économiques liés aux colonisations :

- * les pertes économiques marchandes (telles que les pertes de production pour les pêcheurs professionnels, la diminution du chiffre d'affaire pour le tourisme nautique, ...)
- * les atteintes au bien-être des acteurs de terrain et les éventuels bénéfices non marchands (activités récréatives, aspects esthétique, aménités, ...).

Les principales attentes concrètes du projet quant à cette approche économique étaient :

- le choix de la périodicité d'intervention : quel intervalle entre deux actions ?
- le choix du moment de l'intervention : à quel moment de l'année intervenir ?
- l'estimation des coûts de gestion en vue d'une action de contrôle : comment réaliser un budget prévisionnel ?
- la prise en compte de la diversité des sites : quels facteurs influent significativement sur les coûts ?
- enfin, une approche en terme de filières de traitement : quel devenir pour les jussie traitées et à quel prix ?

En parallèle, les contacts pré-existants entre les participants au projet et les gestionnaires pouvaient se résumer en trois questions centrales :

- doit-on gérer ces stocks de jussies ?
- et si oui, jusqu'à quel niveau doit-on les gérer ?
- à quels coûts ?

9. 2. Résultats et discussion

La démarche théorique s'est appuyée sur divers modèles dont celui proposé par Eiswerth et Johnson. Considérant des coûts de prélèvement et des dommages marginaux croissants, les simulations économiques ont montré plusieurs cas de figure :

- sans externalité de stock, la fonction de valeur ne peut admettre de minimum global différent de 0 et de K.

Si les dommages sont nuls pour les fortes valeurs de stock, les solutions optimales du modèle sont 0 et K, ce qui revient à conseiller l'éradication de la plante ou au contraire la non gestion et l'abandon du site à la Jussie.

Dans tous les autres cas, la solution optimale est un stock nul, et donc l'éradication de la plante.

En l'absence d'externalité de stock, le seul cas envisageable pour l'existence d'un minimum intérieur est de considérer un bénéfice de la présence de la Jussie à faible densité, en admettant des dommages négatifs et décroissants pour des faibles valeurs de stock, puis de nouveau positifs et croissants quand le stock augmente.

- avec une externalité de stock décroissante en fonction de S, la fonction de valeur décroît pour des faibles valeurs de stock et admet un minimum global non nul. La gestion devient dans ce cas pertinente afin de maintenir un niveau de stock optimal S^* . L'effort de prélèvement à fournir pour maintenir cet état stationnaire est alors déterminé par la dynamique de croissance de la Jussie dans les conditions du site.

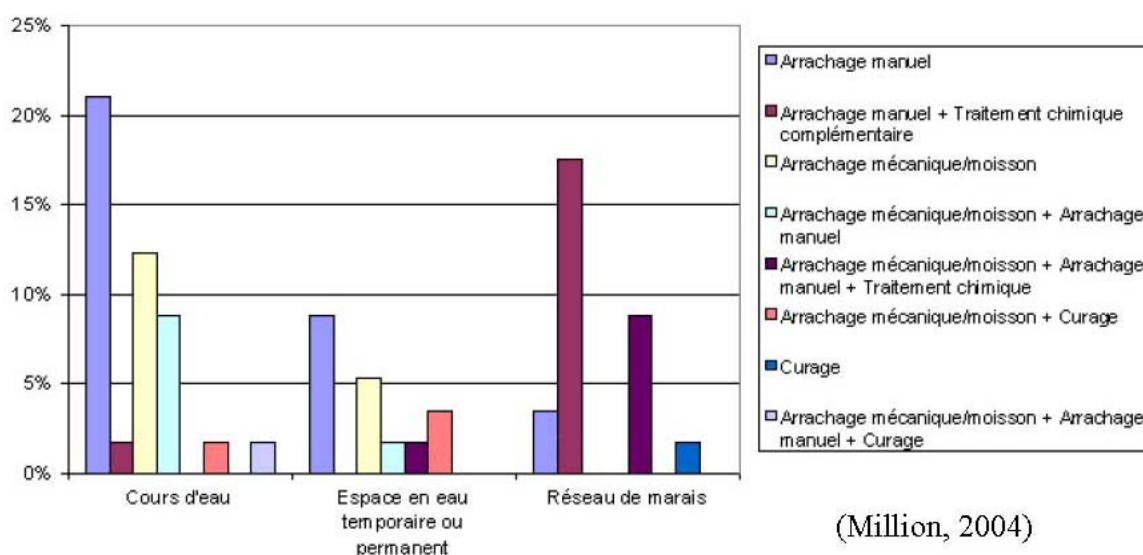
La position du stock optimal varie en fonction des paramètres choisis pour les fonctions de coûts et de dommages.

L'enquête menée auprès de gestionnaires a permis de rassembler des données provenant principalement de l'Ouest de la France, sur la façade atlantique. Les sites composant l'échantillon sont des cours d'eau dans 47% des cas, des réseaux de marais dans 32% et des plans d'eau permanents ou temporaires dans 21% (Million, 2004). Ils sont gérés par plusieurs types d'institutions publiques :

- Syndicats mixtes : Syndicat d'Aménagement Hydraulique Sud Loire, Géolandes, Syndicat du Don, Association syndicale des marais de monts, Syndicat Intercommunal d'Aménagement du bassin versant de la rivière Ognon,.
- Communautés de commune : Communauté d'agglomération Saumur Loire Développement.
- Etablissement Public Territorial de Bassin : Institution Interdépartementale du Bassin de la Sèvre Niortaise, Institut d'Aménagement de la Vilaine.
- Conseil général : Conseil général 49.
- Fédération de chasse : Fédération des chasseurs de Loire-Atlantique.
- Parc Naturel Régional (PNR) : PNR de Brière.

Les types d'interventions réalisées par type de milieu ayant servi de base à l'analyse sont présentées dans la figure 24.

Figure 24 : Répartition des expériences de gestion par type de milieu et types d'interventions (Million, 2004)



Si cette enquête a bien permis une première approche des coûts d'arrachage mécaniques et manuels des jussies, elle n'a en revanche pas pu déboucher sur une estimation de la fonction de coût ni d'étudier l'externalité de stock sur les coûts de gestion. Elle a toutefois permis de différencier nettement les coûts des opérations à base d'arrachage manuel et mécanique aussi bien en terme d'ordre de grandeur que de structure (Figure 24).

Elle permet de distinguer globalement deux nuages de points :

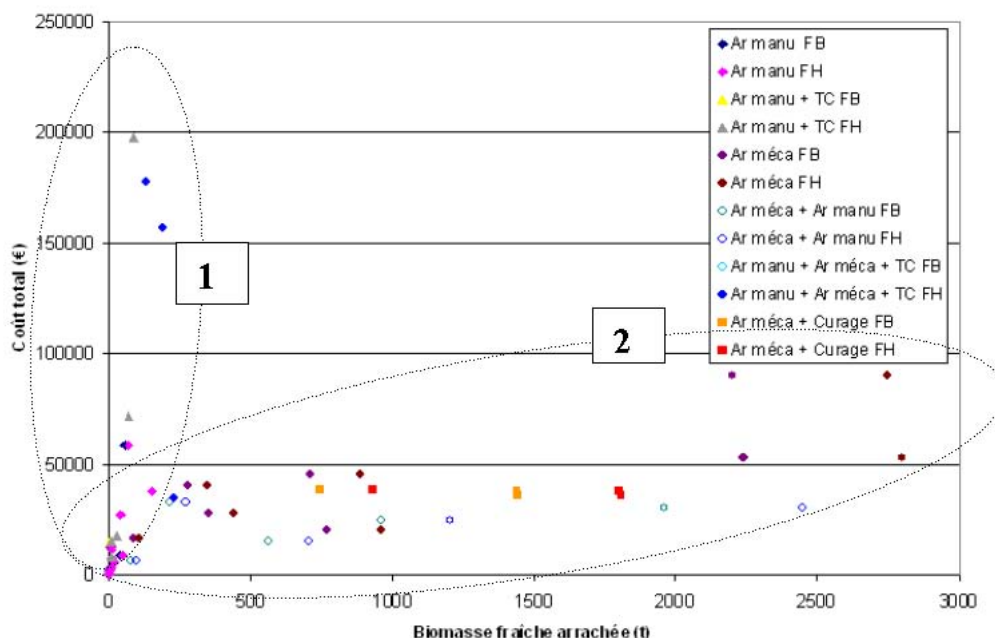
- **le nuage 1** qui représente les opérations à arrachage manuel majoritaire, avec de faibles quantités arrachées et des coûts comparativement élevés
- **le nuage 2** avec des interventions mécaniques majoritaires et de fortes quantités arrachées, pour des coûts comparativement plus faibles.

Les premiers éléments de coûts provenant des données de l'enquête sont les suivants :

- arrachage manuel : coût moyen compris entre 1100 et 1330 €/tonne de biomasse fraîche arrachée,
- arrachage mécanique : coût moyen compris entre 51 et 64 €/t de biomasse fraîche arrachée.

Figure 24 : Répartition des coûts totaux des différents types d'actions de gestion en fonction de la biomasse fraîche arrachée (Million, 2004)

(pour chaque série sont représentés les points pour les fourchette basse (FB) et haute (FH) des estimations de quantité arrachées)



Par ailleurs, pour chacune des deux méthodes d'arrachage, il semblerait se dégager une forme globalement linéaire du coût total en fonction de la biomasse fraîche retirée du milieu, avec éventuellement l'existence de coûts fixes.

Ces estimations de coûts et les données complémentaires rassemblées par cette enquête peuvent guider le montage de budgets prévisionnels dans le cadre de demandes de subventions, de sensibilisation des décideurs ou de choix de stratégies d'actions. Concernant la variabilité des coûts, il est indéniable qu'il existe un fort effet dû au site, même si l'échantillon de données n'a pas permis d'identifier précisément cet effet.

La solution la plus efficace en terme de dommages et de coûts semble se situer à un niveau de stock optimal bas : pour y parvenir, il faut probablement envisager une réduction importante du stock si possible mécaniquement, puis un arrachage manuel régulier pour le maintenir à un niveau bas, garantissant de faibles nuisances et un coût total raisonnable. Mais seules des analyses économétriques de coût et de dommages permettraient de confirmer cette hypothèse, c'est pourquoi des données de coûts, de stock et prélèvement pour différents cas sont indispensables pour continuer cette analyse économique.

Plus généralement, il ressort que la gestion des jussies ne peut être envisagée ponctuellement, à la fois dans l'espace et le temps, mais qu'il faut plutôt s'orienter vers une gestion coordonnée sur le long terme.

La bibliographie est peu abondante sur les aspects économiques des invasions biologiques. En particulier, le modèle coût-bénéfice de Eiswerth et Johnson (2002) qui a servi de base de réflexion est apparu insuffisant pour donner des solutions cohérentes dans un contexte statique. Son approche n'inclut pas la prise en compte des externalités de stock sur la fonction de coût de gestion alors que cet élément nous semble primordial pour l'existence d'un niveau

optimal de gestion non nul. Cette découverte nous a amené à reconsidérer ce modèle en y intégrant cette notion tirée des références sur les pêcheries.

Une enquête auprès des gestionnaires sur leurs expériences de lutte contre les jussies a montré qu'actuellement les gestionnaires ne disposent pas d'évaluation correcte de la colonisation par ces plantes et des coûts de leur gestion.

Il paraît nécessaire de motiver les gestionnaires autour d'une démarche commune et unique de comptabilisation des coûts, des stocks et des quantités arrachées, ainsi que de caractérisation des sites incluant état de la colonisation et usages. En particulier, les acteurs de la gestion des jussies devraient pouvoir mieux expliciter leurs pratiques en utilisant les principes de la comptabilité analytique. Pour cela, les fiches d'enquêtes réalisées sont une première ébauche de grille d'évaluation technico-économique des opérations d'arrachage de jussies.

Par ailleurs, il semble nécessaire d'avoir plus d'informations sur des sites en situation de non-gestion des jussies, afin de développer un modèle biologique de développement de la plante. Dans cette perspective, une telle modélisation devrait pouvoir intégrer la modification de la dynamique de colonisation induite par une restauration de la fertilité. Enfin, incluant la dynamique intra annuelle de ces plantes, une telle approche offrirait la possibilité d'étudier la question du choix de la date optimale d'intervention.

10 / Gestion des jussies

Préambule

La structuration retenue pour la présentation de l'ensemble des travaux du présent projet n'est pas vraiment adaptée à cette partie qui comporte des activités de communication en temps réel pour lesquelles il est relativement difficile de faire un bilan argumenté mais nous l'avons tout de même conservé pour ne pas en compliquer la lecture.

Par ailleurs un arrêté du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable a été pris le 2 mai 2007 et publié dans le Journal Officiel de la République Française interdisant "la commercialisation, l'utilisation et l'introduction dans le milieu naturel de *Ludwigia grandiflora* et *Ludwigia peploides*".

Les deux premiers articles comportent les précisions suivantes :

"Art.1er.–Au sens du présent arrêté on entend par «spécimen» toute plante vivante, toute fructification ou autre forme prise par les végétaux au cours de leur cycle biologique ainsi que toute partie revivifiable obtenue à partir de la plante.

Art.2.–Sont interdits sur tout le territoire métropolitain et en tout temps, le colportage, la mise en vente, la vente, l'achat, l'utilisation ainsi que l'introduction dans le milieu naturel, volontaire, par négligence ou par imprudence de tout spécimen des espèces végétales suivantes:–*Ludwigia grandiflora* (Michx.) Greuter & Burdet, Ludwigie à grande fleurs;–*Ludwigia peploides* (Kunth) P.H. Raven, Jussie."

Il s'agit du premier arrêté concernant les plantes aquatiques d'eau douce pris en France dans le contexte de régulation des invasions biologiques. Ce n'est pas un hasard s'il concerne les jussies qui sont maintenant bien perçues comme des sources de nuisances au niveau national. On peut considérer que cette intervention arrive tardivement, alors même que le territoire national est largement colonisé par ces deux espèces, mais ce texte peut contribuer à la prise de conscience de l'ensemble des partenaires de leur gestion.

Certains gestionnaires ont réagi rapidement à la publication de cet arrêté en demandant des précisions aux représentants de l'état de leur département sur les questions de "colportage" et "d'introduction dans le milieu naturel". En effet, l'extraction des jussies dans de nombreux sites, leur transport et leur dépôt ultérieur dans des sites de stockage ou leur réutilisation pourrait tomber sous le coup de cet arrêté si une interprétation trop littérale en était faite.

10. 1. Aspects méthodologiques

Cette partie du projet constituait la véritable interface avec la gestion concrète des jussies. Les contacts préexistants au présent projet ont déjà permis d'intégrer différents gestionnaires comme partenaires directs, tout d'abord en les informant des objectifs poursuivis puis en examinant avec eux les possibilités de travaux en communs. Certains d'entre eux nous ont fournis les données techniques et économiques nécessaires à l'analyse économique réalisée durant le présent programme et ont donné des réponses aux questions posées pour l'analyse ethnobotanique, jouant de ce fait un véritable rôle de partenaire.

De même, les contributions des participants au projet à différents groupes de travail ou de pilotage ont permis d'intégrer certains des éléments des thématiques poursuivies aux objectifs de ces groupes.

Il s'agit donc d'une recherche régulière d'intégration des objectifs du projet aux activités d'organisation des interventions de gestion des jussies déjà engagées : réunions de groupes de travaux, co-rédactions de documents, concernant généralement les plantes aquatiques exotiques à caractère envahissant, dont les jussies, comme des plaquettes, guides, etc.

En parallèle, des efforts particuliers de transferts directs de certains des acquis antérieurs au projet ou issus du projet ont été faits par l'intermédiaire de conférences à des manifestations s'adressant à différents publics : là encore, une partie de ces conférences concernaient les principales plantes envahissantes, dans lesquelles les jussies étaient citées comme causant les nuisances les plus importantes.

10. 2. Résultats et discussion

Syndicat Mixte Géolandes

La coopération engagée depuis 1988 entre le Cemagref et le Syndicat Mixte Géolandes sur la gestion des plantes exotiques envahissantes dans les lacs et étangs du littoral landais a permis, à la suite de la réalisation d'un plan de gestion en 1989 (Dutartre, Delarche, Dulong, 1989), de mettre en œuvre des suivis de l'évolution des colonisations par quelques espèces envahissantes, dont les jussies. Ce syndicat mixte réunit les communes riveraines de la quinzaine de lacs et d'étangs situés entre le bassin d'Arcachon et l'Adour et le département des Landes.

Les suivis de colonisation ont également permis d'évaluer les conséquences des interventions réalisées sur certains plans d'eau depuis une dizaine d'années et d'en tirer des éléments transposables dans d'autres situations (Dutartre, 2005). Une analyse des évolutions des communautés végétales pendant cette période (Castagnos, Dutartre, 2001) et des relations entre les espèces indigènes et les exotiques a également pu être faite. En 2004 une session de formation a été mise en œuvre en direction des différents intervenants dans la gestion des plantes envahissantes (services techniques des communes, associations d'usagers) : elle a permis de rassembler une centaine de personnes (voir dans les actions de transfert "Dutartre, 2004c" et dans les rapports "Dutartre, 2004").

Plus récemment, le Conseil Général des Landes a mis en place un Programme pluriannuel de gestion des plantes aquatiques envahissantes (2003-2005) dont les objectifs concernent presque exclusivement les jussies :

- valeur nutritive des jussies, molécules à haute valeur ajoutée, capacité germinative *in situ*,
- suivis de chantier et évaluation de la recolonisation des sites par les plantes indigènes,
- essais de compostage, de fermentation anaérobie, d'épandages en zones agricoles ou en forêt, avec ou sans broyage.

Les travaux menés dans ce cadre concernent entre autres les capacités de production de biomasse des jussies dans certains sites sélectionnés (Dutartre, Bertrin, Laplace, 2004) et les risques de germination des composts de jussies : sur ce dernier point un test est en actuellement en cours.

Un bilan plus récent des activités de Géolandes a été réalisé (Dutartre *et al.*, 2005 b) qui passe en revue les interventions techniques régulières menées pour réguler les développements de plantes aquatiques exotiques, dont celles sur les jussies, les efforts réalisés en matière de formation et de formation, et les possibilités de recyclage des jussies après extraction.

Cette question est rapidement devenue une préoccupation. En effet, les volumes importants dont il faut assurer le traitement ou l'élimination sont soumis à des contraintes très diverses, liées aux sites eux-mêmes, à la quasi-absence de parcelles agricoles à proximité permettant un épandage éventuel pour séchage puis enfouissement ultérieur, à la fermeture progressive des décharges communales et aux évolutions de la réglementation en matière de gestion des déchets, etc.

A ces contraintes pratiques, techniques et réglementaires s'ajoutent certaines réticences des gestionnaires de syndicats de traitement de déchets à incorporer de tels produits dans leurs élaborations de composts de déchets verts : en effet, des incertitudes demeurent sur la composition de ces déchets, pouvant comporter des sédiments en proportions variables selon le mode d'extraction du plan d'eau .

Enfin, un élément expliquant un grande part de ces réticences est le risque de germination des graines de jussies après compostage : des expériences de laboratoire et des observations de terrain ont montré que les graines de jussies pouvaient germer dans de nombreux cas. Ce risque est sans doute faible car des essais de laboratoire ont montré que la capacité germinative des graines était détruite à partir de 50°C (Havet, 2003 ; IIBSN, 2003) et la température d'un compost bien mené peut dépasser 60°C, il est donc vraisemblable que ce risque de germination soit annihilé. Des vérifications sur des échantillons de compost restent toutefois à réaliser avant de proposer de manière régulière cette technique de recyclage : des tests sont actuellement en cours sur ce point dans le cadre du programme pluriannuel lancé par le Conseil Général des Landes sur les questions de gestion des plantes exotiques envahissantes.

D'autres essais ont déjà été mis en œuvre, comme des tests de compostage avec du lagarosiphon major en mélange avec 50 % de déchets verts : les résultats obtenus ont été tout à fait satisfaisants.

Pour ce qui concerne la jussie, des essais entamés en 2003 ne sont pas avérés concluants : une explication réside apparemment dans le fait que les jussies utilisées dans ces essais provenaient d'eaux saumâtres de la partie aval du courant du Boudigau, exutoire du Marais d'Orx, : or des teneurs, même très faibles, en sel peuvent expliquer l'échec de ces tests de compostage. En 2004, ces essais ont été renouvelés qui ont donné des résultats plus satisfaisants.

Par ailleurs, des tests de germination ont été menés sur des échantillons de compost. Dans un seul des tests, mené dans des conditions très différentes de celles habituellement réservées aux composts, c'est à dire dans à partir de compost saturés en eau en permanence, deux germinations ont été observées. Ce résultat exceptionnel ne devrait pas remettre en question les possibilités de compostage mais amener à une rigueur accrue dans la conduite des opérations de compostage qui commencent à apparaître comme une solution envisageable

pour le traitement des jussies extraites. Une synthèse récente présente les essais réalisés sur les jussies dans l'Ouest de la France (Debril, 2005).

Enfin, des expérimentations d'épandages de jussies en zones agricoles ou forestières, avec ou sans broyage ont également été mises en œuvre en 2003 et 2004 sous le contrôle de Géolandes : à l'heure actuelle, aucune réapparition de jussies dans ces zones d'épandage n'a été observée.

Un élément important dans la réalisation des opérations de gestion régulière des plantes aquatiques est leur organisation : le Syndicat Mixte est chargé des interventions de grande ampleur, correspondant souvent à des premiers travaux, puis les communes sont responsables de l'entretien ultérieur du site.

Dans la mesure où de telles interventions n'étaient pas à l'époque régulièrement réalisées et que de ce fait les informations disponibles sur leurs déroulements et leurs implications restaient rares, des suivis de chantier ont été systématiquement mis en œuvre. Ils ont permis de recueillir de très utiles données chiffrées relatives au déroulement de ces interventions, même si chaque chantier s'avère un cas particulier, aux quantités extraites, au degré d'envahissement, etc.

Il importait également d'améliorer la durée d'efficacité des travaux réalisés. Les connaissances disponibles sur la biologie et l'écologie des espèces exotiques envahissantes concernées par ces travaux montraient en particulier leurs grandes capacités de bouturage et donc de recolonisation des sites à partir de fragments de tiges. C'est pourquoi un arrachage manuel de finition complétant ces arrachages mécaniques a été préconisé et généralement mis en œuvre. Il peut être réalisé par l'entreprise chargée de l'arrachage, et dans ce cas cette finition est à prévoir explicitement dans le cahier des charges, ou par l'entreprise et des personnels communaux chargés ultérieurement de l'entretien. Cette dernière configuration a par exemple été mise en œuvre dans les interventions réalisées dans deux étangs.

Une fois les travaux achevés et réceptionnés, une convention approuvée par le syndicat mixte est signée par la (ou les) commune(s) concernée(s) par les travaux ; cette convention stipule que ces communes s'engagent à assurer ultérieurement le suivi et l'entretien régulier des zones traitées.

Certaines communes se sont par ailleurs dotées de personnels spécifiques, comme des emplois jeunes ou des "gardes verts", chargés de missions de préservation et de gestion de l'environnement : ces personnels effectuent donc ces travaux d'entretien manuel des plans d'eau et leur suivi.

D'autres communes font réaliser l'entretien et les suivis après travaux par des associations de réinsertion. D'autres enfin ont acquis du matériel spécifique, c'est à dire une barge avec bras hydraulique équipé d'une griffe, conduit par des personnels communaux, qui permet de réaliser des interventions avec l'aide de bénévoles (Dutartre *et al.*, 2005 b).

Institution Indépartementale du Bassin de la Sèvre Niortaise

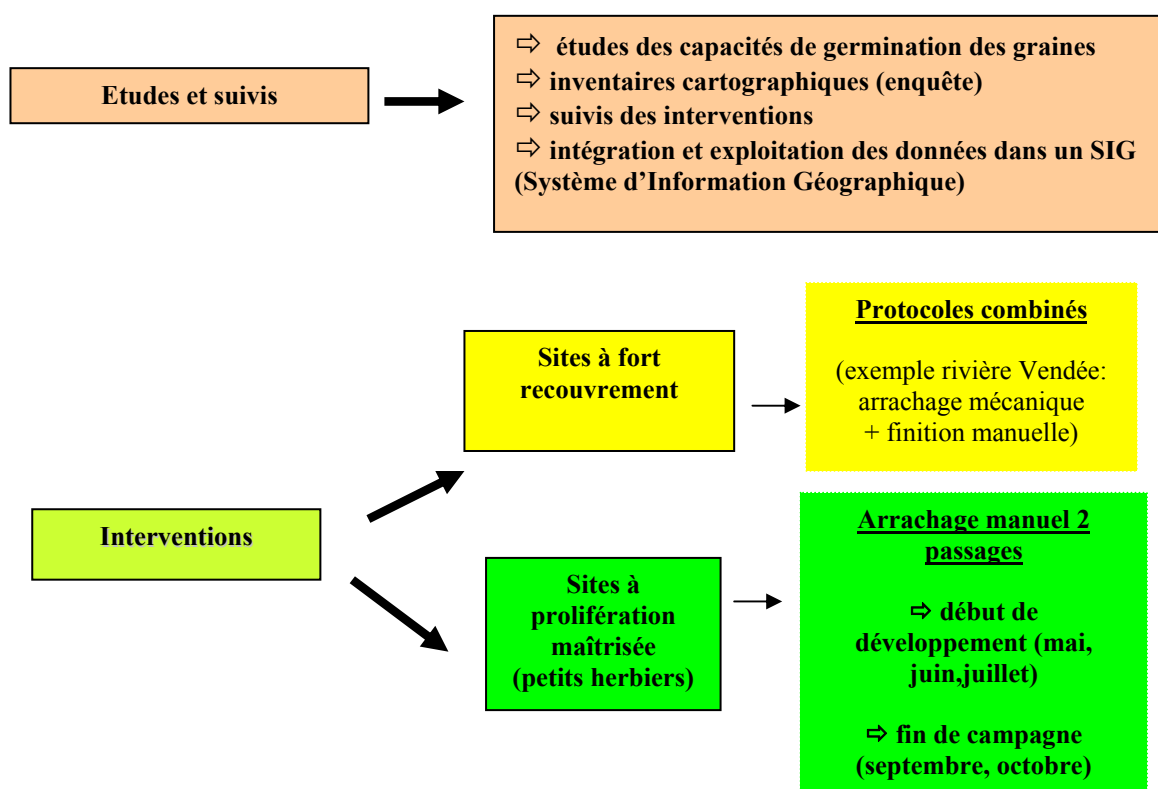
Comme Géolandes, l'IIBSN a été un des partenaires du projet ayant largement contribué à nous apporter des données et des informations.

Les premières observations des jussies (*Ludwigia sp.*) dans les voies d'eau principales du Marais Poitevin datent de 1991 (Pipet, 1995). La rapidité de la dispersion de cette plante dans ce site a amené l'IIBSN à intervenir dès 1994 sur les zones colonisées avec pour objectifs la prévention des phénomènes d'envasement de la zone, la préservation des usages et des loisirs (navigation, pêche), la restauration de conditions physico-chimiques plus favorables (oxygénation, teneurs en substances nutritives, ...) et les maintiens des valeurs paysagères et de la biodiversité des milieux.

Une cartographie des herbiers sur les linéaires de rives a été mise en œuvre dès le début des interventions de gestion pour le repérage des zones colonisées et, par sa répétition annuelle, faciliter l'évaluation de l'efficacité des travaux engagés en estimant les superficies de jussies réapparues après travaux.

Des protocoles d'évaluation de l'efficacité de diverses techniques ont été mis en place dans un cadre expérimental de 1994 à 1998. Trois techniques (application d'herbicide, arrachage mécanique et enlèvement manuel), utilisées seules ou combinées, ont été testées à différentes échelles et ont permis, à partir de 1999, d'élaborer un plan de gestion à l'échelle du territoire (15 000 ha). Ce plan de gestion (Figure 25), établi à partir des résultats des expérimentations, a débuté en 1999 et a été poursuivi et étendu en 2006 (IIBSN, 2007).

Figure 25 : Plan de gestion des jussies dans le Marais Poitevin (IIBSN, 2007)



Il s'agissait de mettre en œuvre des interventions adaptées au niveau de colonisation. Sur les sites présentant une prolifération modérée, aujourd'hui maîtrisée, un entretien manuel a été privilégié. Il consiste en un arrachage des petits herbiers en début de développement (mai, juin) et en un second passage en fin de cycle de développement des plantes sur les herbiers qui ont réapparu (septembre, octobre). Cette phase d'entretien manuel a pour objectifs d'arrêter la dynamique d'occupation de l'espace par les jussies, de protéger les cours d'eau en aval des apports de boutures viables et de privilégier l'application d'une méthode douce. Sur les sites fortement colonisés correspondant à une "situation de crise", une application de méthodes combinées est privilégiée (mécanique + manuel). Ces sites font l'objet l'année suivante d'un entretien manuel. Plusieurs matériels peuvent être utilisés pour les interventions mécaniques (pelle hydraulique avec godet adapté, barge ou camion avec pince à végétaux)

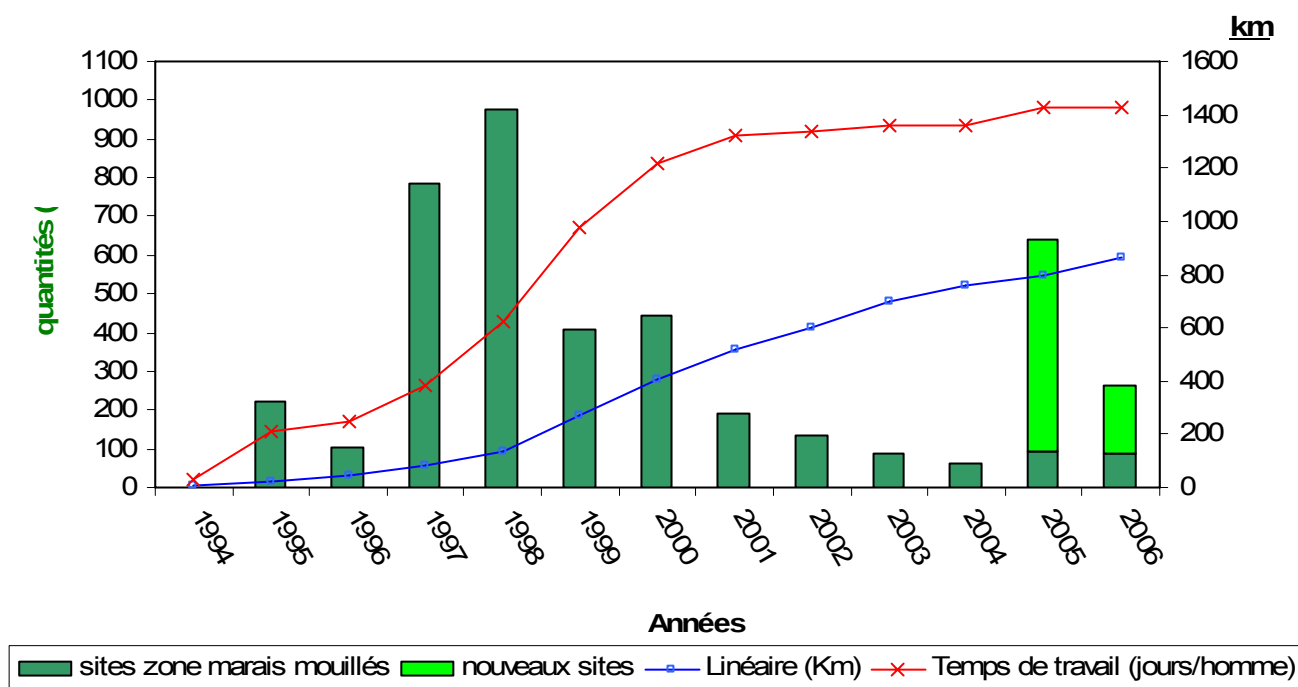
répondant chacun à des conditions de milieu et de développement végétal particuliers. Ils permettent de récolter rapidement une biomasse végétale importante. Une finition manuelle est toujours réalisée en complément de cet arrachage mécanique et la mise en place de filets flottants permet de récolter facilement les boutures qui pourraient être transportées par le courant.

Les premières années, les plantes extraites ont été mise en décharge avant que la législation sur les déchets ne soit modifiée. Elles sont actuellement transportées sur des secteurs agricoles hors zone humide et broyées avant d'être incorporées au sol par labourage.

Une analyse chronologique des résultats de cette gestion démontre que la régularité des travaux a permis de réguler les développements de cette plante dans le Marais Poitevin (Dutartre, 2004). La figure 26 rassemble les données sur ces interventions.

Si les tonnages de plantes extraites ont très fortement augmenté jusqu'en 1998, pour atteindre cette année là environ 1000 tonnes de plantes fraîches, ils ont ensuite régulièrement diminué pour rester à une valeur inférieure à une centaine de tonnes à partir de 2003.

Figure 26 : Opération jussie de 1994 à 2006. Evolution du linéaire d'intervention, des quantités récoltées et du temps de travail (d'après IIBSN, 2007)



Deux paramètres quantitatifs d'analyse de ces travaux illustrent bien cette réussite :

- les linéaires de rives entretenues par l'IIBSN sont passés de quelques kilomètres en 1994 à plus de 900 en 2006, avec une augmentation annuelle relativement régulière,
 - le nombre de jours de travail consacrés à ces travaux a très fortement augmenté jusqu'en 2000 pour atteindre environ 1200 jours et a ensuite peu évolué, restant de l'ordre de 1400 jours en 2006 (IIBSN, 2007 b). Une équipe de 12 saisonniers est engagée chaque année pendant 6 mois pour réaliser ces travaux, sous la direction d'un agent permanent de l'IIBSN.
- Le coût de ces travaux est important. Il était, par exemple, d'environ 220 000 € (hors investissements) en 2005, il reste toutefois à l'échelle de la dimension géographique et des enjeux humains du site.

Enfin, des efforts d'information réguliers ont été réalisés par l'IIBSN tels que plaquettes à

distribuer au public dont une plaquette de format "marque-page" destiné à être distribué par les loueurs de barques du Marais Mouillé aux touristes visitant le marais.

Comité des Pays de la Loire pour la gestion des plantes exotiques envahissantes

Il a été constitué en 2002 ; il réunit principalement des partenaires régionaux et quelques intervenants extérieurs, dont une partie des participants au présent projet (J. Haury, E. Lambert, A. Dutartre, J. Haury étant le responsable de la commission scientifique). Animé par la DIREN des Pays de la Loire, les activités de ce groupe de travail ont permis la centralisation des informations sur les activités de gestion des plantes aquatiques exotiques envahissantes dans la région et ont également débouché sur la rédaction d'un guide technique disponible en téléchargement. L'adresse du site Internet est la suivante : (http://www.pays-de-loire.ecologie.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=34).

Cette coordination a aussi permis des cartographies des différentes espèces envahissantes (jussies et quelques autres espèces dont *Egeria densa*, *Myriophyllum aquaticum* et *Lagarosiphon major*), a facilité la rédaction d'un avis sur le recours aux herbicides dans les interventions de gestion et d'un fichier d'aide à la constitution d'un dossier d'intervention. Nos interventions dans ce cadre ont presque exclusivement comporté la fourniture d'informations sur la biologie et l'écologie des plantes concernées, dont les jussies, sur les modalités de certaines interventions de gestion dans cette région pour lesquelles nous possédions des précisions et une relecture critique du texte du guide.

Groupe de travail Loire-Bretagne Plantes Envahissantes

Les mêmes participants au projet sont également intervenus dans les travaux d'un groupe de travail sur les plantes envahissantes du Bassin Loire Bretagne se réunissant depuis début 2002 sous l'égide de l'Agence Loire Bretagne. L'adresse du site Internet est la suivante : (http://www1.centre.ecologie.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=154).

Ses objectifs sont d'identifier les espèces créant des nuisances à l'échelle du bassin Loire Bretagne (et pour ce faire une liste de ces espèces a été définie et diffusée), de recueillir des données sur la localisation géographique de ces espèces et les modalités des interventions de gestion déjà réalisées et de transférer toutes les données acquises vers les gestionnaires et les techniciens.

Depuis sa mise en route, il a permis la réalisation :

- d'une plaquette éditée en 2003, comportant la liste des plantes retenues,
- d'une journée technique destinée aux techniciens de rivière, manifestation ayant réuni plus d'une centaine de personnes en novembre 2003, durant laquelle trois communications ont été faites par les participants au projet (Haury, Lambert, Dutartre, 2003 ; Dutartre A., 2003b et c). Un CD-ROM rassemblant les différentes communications est en cours de réalisation pour une diffusion auprès du public technicien,
- de stages réalisés sous la responsabilité de l'EPALA (Anne Laure Masson en 2002, Marie Vermeil et de Agnès Nozières en 2003).

Il a également contribué largement à la constitution de groupes de travaux sur le même sujet à une échelle géographique plus réduite comme, par exemple, en 2004 dans la région Auvergne.

Autres structures

D'autres structures ont recherché de l'aide auprès des participants au projet dans le domaine de l'organisation de la gestion des jussies à l'échelle des territoires qu'elles ont à gérer. Il s'agit en particulier du Parc Naturel Régional de Brière confronté lui aussi à une colonisation rapide des voies d'eau de cette grande zone humide (Damien & Dutartre, 2007), de la région Picardie

où la vallée de la Somme et de nombreux étangs abritent des herbiers de jussies quelquefois importants, du département de la Charente dans lequel la colonisation de divers sites du fleuve inquiètent les gestionnaires départementaux, d'un syndicat intercommunal sur la rivière Lot, et de divers interlocuteurs dans le Gers, le Finistère, etc., confrontés à des colonisations repérées depuis peu. Une partie des demandes sont satisfaites directement par des envois de documents, sans expertise particulière. Des échanges "questions/réponses" ultérieurs permettent aux interlocuteurs de commencer à poser les bases de leur propre réflexion de gestion.

Dans d'autres cas, des déplacements d'expertise ont été réalisés pour répondre à une problématique apparemment plus complexe. Par exemple, la direction régionale du Nord Pas de Calais de Voies Navigables de France a demandé la réalisation d'une expertise (A. Dutartre) sur les moyens de gérer la colonisation par les jussies du canal de la Haute Colme entre Lille et Dunkerque. Ce canal qui n'est plus utilisé pour la navigation commerciale a présenté un très rapide envahissement par les jussies. Notons que ces plantes étaient présentes depuis une dizaine d'années dans certains linéaires d'autres canaux abandonnés. La réunion publique organisée en 2004 par un élu a permis un premier débat entre usagers et gestionnaires et a conduit cet élu, député du Nord, à engager des actions auprès du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable visant à interdire les jussies à la vente.

Une autre expertise a concerné en 2005 les Marais de Bourges où la jussie (*L. peploides*) et le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum*) colonisent les chenaux d'un des marais aménagé et utilisé par les habitants d'une manière très similaire à celle des Hortillonnages d'Amiens. A la demande du SAGE Yèvre Auron mis en place par le Conseil Général du Cher, une visite de terrain et une réunion de concertation (A. Dutartre) a pu faciliter la coordination entre les partenaires institutionnels et les associations concernées (y compris les associations de riverains. Les bases d'une cartographie régulière permettant d'évaluer la colonisation et les résultats des interventions envisagées ont été transmises. A notre connaissance, des travaux de régulation ont déjà été réalisés.

Actions de communications

Un colloque sur les espèces exotiques en zones humides a été organisé en Vendée par le Forum des Marais Atlantiques en novembre 2003. Ce Syndicat Mixte a été désigné en octobre 2000 comme "pôle-relais" du Plan d'action gouvernemental en faveur des zones humides pour les marais littoraux de l'Atlantique. Faisant le point sur les connaissances acquises sur différentes espèces animales et végétales, des points de vue biologie, écologie et gestion, le colloque réunissant élus, gestionnaires, techniciens et scientifiques a permis de nombreux échanges. Un CD-ROM reprenant les présentations des communications réalisées par le Forum des Marais Atlantiques est disponible et des Actes rassemblant les textes de certaines des communications (dont "Dutartre, Oyarzabal, Fournier, accepté pour publication") sont en cours de constitution.

Des informations auxquelles nous avons contribué, concernant les plantes aquatiques exotiques envahissantes; dont les jussies, sont également disponibles sur le site Internet du Forum : (http://www.forum-marais-atl.com/act_especes_env.html).

Des conférences ponctuelles ont été réalisées à la demande d'autres interlocuteurs, pour le Comité départemental pour la Nature et l'Environnement du Loir et Cher (Haury *et al.*, 2003 a); pour deux associations de propriétaires d'étangs de Sologne à l'occasion des 1^{er} Rencontres Intersolognotes de 2004 (Dutartre, 2004a) et pour le Parc Naturel Régional de Brenne lors du 3^e Chapitre Nature, Festival du livre Nature et Environnement (Dutartre, 2004b). Dans les

deux derniers cas, ces conférences ont permis l'établissement de contacts plus complets et pouvant déboucher sur des recueils d'informations venant conforter le présent projet, que la seule prestation originellement demandée ne prévoyait pas ; en particulier, les informations diffusées sur les enjeux et les risques des différents types d'interventions ont facilité des échanges ultérieurs avec différents intervenants et ont amélioré la coordination dans ces sites. En lien avec les travaux du groupe de travail de la Région des Pays de la Loire, une conférence a également été faite lors d'un colloque sur la gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides (Dutartre, 2005). Enfin, lors d'une conférence organisée par la Société Nationale de Protection de la Nature en novembre 2006 une présentation intitulée "Gestion des plantes envahissantes : exemple des jussies" a été présentée (Dutartre, 2006).

Une partie des demandes d'aide consistent inévitablement en une optimisation des pratiques de gestion, pouvant aller jusqu'au choix des techniques à mettre en œuvre. Ce fut par exemple le cas sur le site des étangs d'Apigné où des propositions d'un plan de gestion comportant de l'arrachage mécanique et/ou de l'arrachage manuel sur certains des sites, et une absence d'intervention dans deux petits étangs très envahis pouvant jouer le rôle de lagune à macrophytes dans l'épuration des eaux, ont été faites (Laffont, 2004 ; Coudreuse *et al.*, 2005). Il s'agissait de prendre en compte la gestion des espèces envahissantes au même titre que l'utilisation du site comme base de loisir et des contraintes (paysagère et sanitaire) qui y sont liées.

De même, dans l'avant projet d'aménagement et d'ouverture au public de l'Espace Naturel Sensible du marais de Gannedel (Boyer *et al.*, 2003), la gestion à mettre en place doit concilier au mieux toutes les activités présentes avec l'intérêt écologique et patrimonial. Une gestion intégrée est indispensable pour préserver le marais de la banalisation, de l'atterrissement mais aussi de l'expansion des jussies.

Pour ce qui concerne le bassin de la Vilaine (Chény, 2004) où, au regard de la forte progression de la colonisation des jussies et des autres plantes proliférantes et de l'inquiétude croissante des usagers, il était nécessaire qu'un programme de gestion coordonnée soit mis en place par l'Institut d'Aménagement de la Vilaine dès 2005. Les propositions de gestion au niveau du bassin de la Vilaine devront être considérées dans le cadre d'une concertation facilitée par un comité de pilotage.

La méthode d'analyse multicritère d'aide à la décision, dont quelques exemples sont présentés dans le tableau 14, peut permettre une meilleure prise en compte de la complexité et des nuances rencontrées dans les questions de gestion des plantes envahissantes comme dans les problèmes environnementaux et d'aménagement du territoire.

D'autres observations sur des interventions ont pu être faites, comme par exemple sur la basse vallée du Don où des travaux ont été engagés pour réguler *L. grandiflora* (Le Tréis, 2003 ; Coudreuse *et al.*, 2004). L'arrachage mécanique puis manuel régulier à partir de 2003 se sont traduits par une forte diminution de l'envahissement de la jussie, en particulier, passage d'une estimation du recouvrement en jussie à un comptage du nombre de rosettes, conséquence d'un arrachage manuel minutieux. Toutefois des douves en connexion possible sont encore présentes comme réserves de boutures.

Tableau 14 : Application d'une grille d'analyse multicritères aux interventions réalisées sur trois sites de l'Ouest de la France (d'après Cheny, 2004 ; Laffont, 2004 ; Le Treis, 2003; Ruaux, 2004)

Objectifs	Hypothèses	LeDon	L'Erdre	La Mandine
1) Mise en évidence de facteurs de distribution et de développement de la jussie	Luminosité	?	+	?
	Profondeur	Optimum [1 m ; 1,5 m] Valeur limite à 2,5 m	Optimum [1 m ; 1,5 m]	?
	Epaisseur de sédiments	+	+ Valeur limite > 2 m	-
	Teneur de M.O. dans les sédiments	?	- (significative ?)	?
2) Mise en évidence de l'impact de l'herbier de jussie	Accumulation de sédiments	?	?	?
	Comparaison chimie de l'eau en herbier/hors herbier	M.E.S élevées	[NH ₄ ⁺] élevée [O ₂] déclassant DBO ₅ faible	[NH ₄ ⁺] élevée [O ₂] déclassant
	Stratification verticale de physico-chimie	Pente élevée du gradient d' O ₂ en profondeur	Pente élevée du gradient d' O ₂ en profondeur Légère augmentation de l'inertie thermique?	?
	Banalisation du milieu	Macro-invertébrés : diversités taxonomiques = en herbiers de Jussie ou Accores > à celle en herbier de Nénuphar	Faible diversité floristique Macro-invertébrés : diversités taxonomiques = en herbier de Jussie ou Nénuphar	?
3) Evolution du milieu après enlèvement	Dégradation de la qualité de l'eau	Non significatif	M.E.S. élevée Pic de P tot Chute [O ₂ ⁺] Pic de [NH ₄ ⁺]	?
	Décapage de couche superficielle	Non	Homogénéisation des sédiments (teneur en M.O.)	Seulement dans le cas d'un décapage pour éliminer le stock de graines
	Baisse de diversité	Non significatif	Exportation (de macro-invertébrés). Perte d'habitats (macro-invertébrés, poissons, amphibiens...)	?
	Reprises de la végétation	Non significatif	Apparition d'herbiers de nénuphars	Non significatif
4) Evaluation de l'efficacité de l'enlèvement	Génération de propagules	Risque de remontées de boutures de la Vilaine	Passage de boutures par dessus le filet	Piétinement et arrachage mise à jour de graines
	Risque d'enlèvement non exhaustif	Difficultés en herbiers d'accotes. Caractère diffus de prolifération	Pieds implantés sur berges immergées inaccessibles aux machines	Existence d'un stock important de graines
	Existence d'un temps de retour de la jussie	En zone d'accumulation, pour arrachage partiel	Pour arrachage partiel, près des berges	Existence d'un stock important de graines

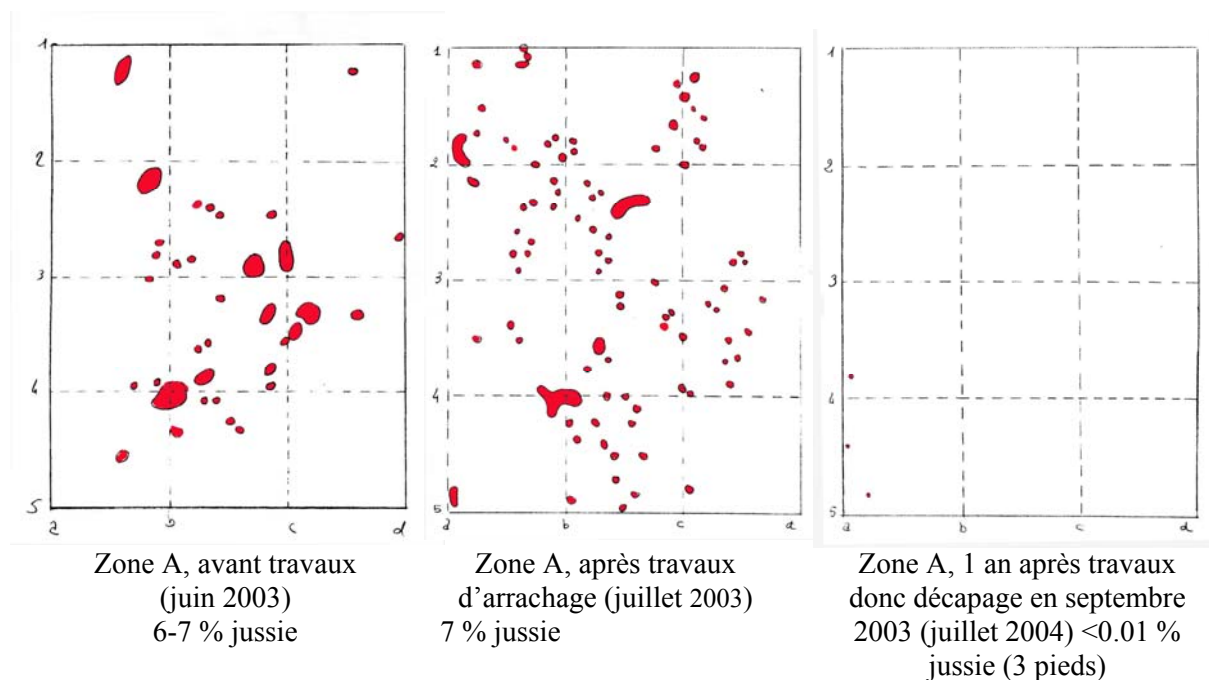
Dans un bras mort de l'Erdre, un arrachage mécanique de *L. grandiflora* a permis d'observer lors des travaux le passage de boutures par dessus le filet flottant et des dépôt de jussie en berge sans bâchage pouvant créer un risque de reprise des plantes à partir de ces sites. Ces travaux ont réduit la zone traitée de de 80% (juin 2003) à 10-15% (juin 2004), avec une persistance de la jussie sur 8-10% de la zone avec une densité > 30%.

Dans les marais de la Mandine, site envahi depuis 1997 par *L. peploides*, l'intervention a consisté en un arrachage manuel des pieds, mais suite à l'observation que cet arrachage permettait la levée des semences de Jussie, un décapage superficiel des sédiments contaminés est réalisé. Les pulvérisations locales d'herbicides sont désormais abandonnées.

L'impact des travaux d'arrachage se traduit par une diminution des populations et la levée de dormance par aération du substrat. Les facteurs pouvant gêner le développement de la jussie sont essentiellement la compétition par les héliophytes.

Une représentation cartographique des recouvrements traduit leur évolution entre 2003 et 2004 (Figure 27). Dans ces marais, une gestion au plus près semble assez efficace.

Figure 27 : Evolution des recouvrements de Jussie (*L. peploides*) sur les marais de la Mandine où un arrachage a été réalisé entre Juin et Juillet 2003, puis un décapage de surface en Septembre 2003



En conclusion, sur ces exemples, des réductions importantes des recouvrements semblent évidentes. Il ne faut pourtant pas oublier que le maintien de ces faibles recouvrements dépend d'une forte pression d'entretien.

D'autres difficultés de gestion peuvent survenir dans certaines situations. C'est par exemple le cas de la basse vallée du Don où les proliférations de Jussie (*L. grandiflora*) étaient particulièrement problématiques puisqu'on constatait un blocage complet de la navigation fluviale. Après 3 années d'arrachage assez intensif, les nuisances induites par la Jussie étaient considérées comme négligeables, tout en imposant un suivi régulier de gestion par arrachages manuels.

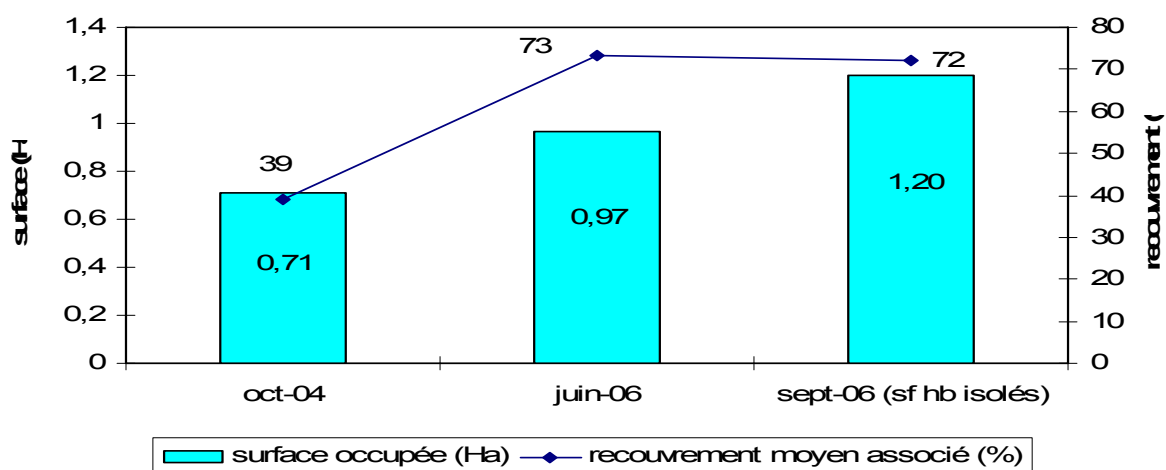
Trois "nouvelles" espèces se sont développées ; en fait des espèces déjà connues sur le site ou à proximité : *Egeria densa* (repérée dans un étang de la plaine d'inondation), *Elodea nuttallii*

(présente dans les douves) et *Lemna minuscula* (méconnue mais probablement présente sur le site depuis un certain nombre d'années), la première arrivant comme la Jussie à bloquer l'écoulement et interdire la navigation, avec en sus un développement plus précoce (constaté sur le terrain) et surtout une distribution beaucoup plus généralisée sur le bassin versant.

De 2004 à 2006, 7 cartographies détaillées des principales espèces introduites du grand étang d'Apigné (et les autres étangs) ont été réalisées, permettant de mettre en évidence à la fois les caractéristiques spatiales et temporelles des colonisations et le dynamisme du processus (Coudreuse et al., 2005).

Il en ressort qu'entre Octobre 2004 et Septembre 2006 (dates qui correspondent aux fins de cycles), les surfaces colonisées par la Jussie ont été multipliées par 1,7 et les recouvrements multipliés par 1,8. (Figure 28)

Figure 28: Evolution des recouvrements et surfaces occupées par la Jussie sur le pourtour de l'étang A (hormis l'anse). (octobre 2004 - septembre 2006)



Les autres espèces envahissantes, Paspale et Myriophylle, semblent avoir une dynamique moindre, surtout autour de l'étang A. Toutefois le Paspale semble constituer une ceinture consolidée en position topographique plus élevée que la ceinture de Jussie.

11. Un bilan ?

Les difficultés rencontrées sont toutes liées à l'extrême diversité des habitats où les deux espèces de jussies exotiques sont susceptibles de s'installer et de prospérer. Leur grande adaptabilité écologique se traduit par des variations de morphométrie très importantes qui sont d'ailleurs une des causes des problèmes d'identification des deux taxons induisant une connaissance actuelle encore insuffisante de la répartition géographique des deux taxons. Cette adaptabilité se traduit en terme de production de matière, de traits biologiques et aussi de capacité de production de graines et de plantules viables.

Il en est de même dès lors que l'on s'applique à analyser les modalités de gestion de ces plantes, aussi bien dans une approche ethnobotanique permettant d'analyser les représentations de ces plantes et de leur régulation concrète auprès des partenaires des travaux que dans l'analyse économique des coûts des interventions.

Le présent projet n'avait pas pour ambition de combler les lacunes dans toutes les thématiques qu'il englobait mais d'y permettre des avancées fournissant des données utilisables et d'identifier les lacunes subsistantes.

Critères morphologiques d'identification des deux espèces

La clé de détermination proposée par Dandelot (2004), comportant de nouveaux éléments de discrimination des deux espèces devrait permettre l'obtention de données fiables sur la localisation et l'écologie des deux espèces. La surveillance des sites où les deux taxons sont présents en mélange devra permettre de repérer la naissance éventuelle d'hybrides, créés en conditions de laboratoire (Dandelot, 2004) mais encore non observés en milieu naturel.

Biotopes d'élection

La liste des habitats potentiellement colonisable par les jussies est longue mais il est possible que d'autres habitats puissent aussi voir s'installer ces plantes. Toutefois, l'intérêt des gestionnaires sur cet aspect particulier des possibilités de colonisation s'arrête aux limites administratives des territoires qu'ils ont à gérer. Nous avons déjà engagé une démarche de transfert dans ce domaine pour élargir le panel de données de manière à améliorer les démarches de gestion des partenaires.

Une des difficultés notables dans ce domaine réside dans le fait que les objectifs poursuivis par ces partenaires sont différents des nôtres : ce qu'ils recherchent en premier lieu est l'établissement d'une cartographie suffisamment représentative de la réalité pour permettre l'élaboration de démarches de gestion adaptées. La description précise des sites est donc, au moins dans un premier temps, un objectif secondaire, ce qui amène dans divers cas à des fiches d'acquisition trop simplifiées pour être pleinement utilisables dans notre contexte.

Toutefois, dans la démarche d'organisation de la gestion, il est déjà évident que cette description plus précise des sites est un outil indispensable pour une meilleure évaluation des nécessités des travaux de régulation et dans l'élaboration de cahiers des charges des interventions plus précis, permettant d'affiner autant que faire ce peut les modalités techniques de ces travaux et leurs ordres de grandeur financiers. C'est pourquoi, dans les contacts réguliers avec les gestionnaires, nous tentons de développer cette approche dont les résultats se feront sans doute attendre au-delà du présent projet mais dont l'importance commence à être mieux appréciée par ces interlocuteurs.

Morphologie des plantes

Il s'agit sans conteste de la partie du projet sur laquelle les difficultés de mises en œuvre sur le terrain ont été les plus importantes.

Ces difficultés sont de plusieurs ordres. L'impossibilité de prévision de l'évolution des sites en

en était une : en effet, certaines zones jugées homogènes en début de saison, et pour lesquelles un échantillonnage régulier avait été décidé, se sont avérées très hétérogènes au cours de la saison de développement.

D'autres sont des biais d'échantillonnage quelquefois assez importants. Lorsque les hauteurs d'eau sont importantes (plus d'une longueur de bras), les biomasses peuvent être sous-estimées car les prélèvements ne peuvent être faits dans des conditions optimales. La réalisation d'un matériel de prélèvement adéquat pourrait peut être résoudre certains problèmes mais les connaissances disponibles sur ces questions de prélèvement de plantes aquatiques montrent bien que cet objectif de mise en œuvre d'un tel matériel est rarement atteint.

D'autres enfin sont la conséquence directe des difficultés de différenciation des pousses de l'année : c'est souvent difficile, quelquefois impossible sur le terrain, surtout en fin de saison, lorsque la base des pousses de l'année devient très semblable aux tiges anciennes (année n-1). Le marquage en début de saison lorsque cette différenciation est encore possible, des pousses de l'année à récolter pourrait être une solution.

L'étude morphologique menée sur différents sites en milieu naturel a permis de distinguer des groupes de populations selon leurs caractéristiques morphologiques spécifiques ; d'une manière générale, deux grands groupes de plantes sont observables :

- dans les habitats les plus favorables au développement des jussies, les pousses de l'année présentent une plus grande complexité de leur architecture et un développement optimal de l'appareil reproducteur.

- dans les habitats les moins favorables au développement des jussies, une simplification de l'architecture des pousses de l'année ainsi qu'un allongement des tiges principales ont été notés par rapport à la population de référence. Ces différences morphologiques semblent être liées soit à un stress abiotique (assèchement du milieu, présence de vagues, substrat épais et très fin...) soit à un stress biotique (compétition intra- et inter-spécifique). Ces deux types de stress semblent avoir la même origine : une diminution de l'espace disponible pour la plante.

D'autres morphologies des pieds ont également été observées dans des continuums eau/terre, démontrant la très grande plasticité de ces plantes, depuis les formes aquatiques et érigées en passant par des formes terrestres encore érigées, plus discrètes et ne fleurissant pas, jusqu'à des formes prostrées et rampantes, plus ou moins allongées selon l'humidité ambiante des biotopes. Pour ce qui concerne cette dernière morphologie elle a été observée aussi bien sur les grèves sableuses de la Loire (Prost, 2003 ; Helard, 2004) que sur les sols argilo-limoneux des Barthes de l'Adour (Pelotte, 2003).

Nous avons envisagé de proposer un "pré-modèle" de développement de ces plantes mais l'extrême diversité des sites et des adaptations morphologiques des deux taxons ne nous ont pas permis de mener cette partie du projet à son terme.

Biomasses

Afin d'améliorer la contribution du projet aux interventions de gestion, des évaluations des biomasses exportées, non triées et non lavées, et des biovolumes correspondants (en différenciant éventuellement les parties aériennes et aquatiques pour plus de précision) pourraient permettre de meilleures estimations des tonnages et des volumes de plante à exporter en fonction des sites.

Des informations sur la production des jussies ont déjà été fournies aux gestionnaires depuis quelques années et les nouvelles données restant dans la gamme précédemment connue apportent seulement des éléments de relativisation et/ou de confirmation.

Par ailleurs, nous avons indiqué que les évaluations de productivité des jussies pouvaient être faites en utilisant comme critère les temps de doublement de biomasse, ce qui autorise des

comparaisons intéressantes entre sites. Toutefois, une difficulté notable provient du fait que cette productivité est variable au cours de la saison de développement des plantes : ainsi, pour être totalement valides, ces comparaisons devront nécessairement être faites sur des périodes similaires, en durée comme en positionnement dans le calendrier.

Reproduction sexuée

Sur ce point les résultats obtenus lors de différents travaux montrent la difficulté de produire une synthèse actualisée : en effet, les caractéristiques de production de graines susceptibles de participer à l'extension des deux taxa sur le territoire ou de maintenir un potentiel de colonisation dans des sites faisant l'objet d'un enlèvement des parties végétatives des plantes sont très variables selon les régions et nécessitent l'obtention de nouvelles données pour en tirer une quelconque généralisation.

Les observations réalisées sur le développement des plantules ont montré qu'il était risqué de définir une limite nord de possibilité de germination (et d'autant plus dans le contexte de changement climatique). Les résultats des tests de germination en laboratoire ont apporté des précisions intéressantes concernant les capacités des jussies à produire des graines viables, Les expérimentations en laboratoire et sur le terrain ont permis de mieux identifier les biotopes favorables : le transfert de ces informations aux gestionnaires pourrait permettre de réduire les risques de colonisation de nouveaux sites par les graines et les plantules.

Compétition

Là encore, la grande diversité des situations ne nous a pas permis de proposer une description des processus de compétition en action dans les communautés de plantes où les jussies sont présentes. Toutefois, les observations réalisées montrent que ces processus ne se résument pas à une domination permanente et généralisée des jussies dans les biotopes où elles sont présentes, même si leur avantage compétitif sur les hydrophytes strictes en tant que plante amphibie reste indéniable.

Il est évident que la dynamique des eaux (variations de niveaux, vagues, houles) est un élément de contrainte qui joue un rôle important dans ces processus et qu'ils peuvent réduire, voire empêcher, l'installation et le développement des jussies, favorisant de ce fait des espèces plus adaptées à des conditions plus ou moins turbulentes.

De même, les caractéristiques locales des biotopes, telles que profondeur ou type de substrats, peuvent permettre une diversification des sites favorable, au moins à moyen terme, à l'arrivée d'autres espèces aux caractéristiques compétitives variables.

Gestion

La définition d'une procédure de mise en œuvre de la gestion des plantes aquatiques envahissantes est une problématique développée avec l'aide de différents gestionnaires depuis plusieurs années et qui a déjà fait l'objet d'un certain nombre de présentations préalables au présent projet. Il s'agit d'une procédure générale s'articulant autour de définitions (des caractéristiques du milieu concerné, des peuplements végétaux, du cadre réglementaire, des usages, des nuisances et des objectifs de la gestion, etc.), de choix (des techniques et d'un programme d'intervention) et d'évaluations (de l'efficacité du programme et des impacts écologiques des interventions). Des références à cette procédure ont été utilisées lors des différents contacts avec les gestionnaires.

La grande variabilité des processus et des intensités de colonisation en fonction des biotopes est une difficulté récurrente dans les relations avec les gestionnaires. Par ailleurs, les demandes de la plupart des gestionnaires sont l'obtention d'une solution à leurs problèmes, solution simple, facile à mettre en œuvre, peu coûteuse, sans impacts secondaires, etc. Ce qui reviendrait en quelque sorte à une sorte d'application magicienne des capacités supposées de

résolution de ces demandes par le couple "science et technique"...

Une part notable des informations qui sont alors fournies à ces demandeurs consiste en fait à ne revenir sur le "terrain" des solutions envisageables qu'après avoir passé en revue les éléments objectifs du problème, tels que types de milieux colonisés, superficies couvertes, quantités de plantes présentes, mosaïques des communautés végétales, et les connaissances déjà disponibles sur les efficacités mesurées dans d'autres sites des techniques envisageables, telles que la durée d'action d'une application d'herbicides ou la dynamique de recolonisation d'un site après arrachage.

Dans un premier temps, cette démarche conforte souvent les gestionnaires dans leur doute vis-à-vis des capacités de la science (et de la technique) à résoudre les problèmes puis, lorsque les contacts se sont fait plus réguliers, à admettre la nécessité d'une gestion régulière... Elle nécessite donc une longue durée et doit être accompagnée d'efforts de transmission réguliers des nouvelles informations acquises.

Plusieurs exemples des contacts engagés avec ce type de démarche en démontrent l'efficacité et les analyses ethnobotaniques engagées dans le projet ont bien montré l'importance de cet apport des sciences humaines et sociales dans la compréhension des "jeux" de rôles existant entre les partenaires de la gestion (Dutartre & Menozzi, 2006 ; Menozzi & Dutartre, 2007).

Dans divers cas, les premières phases de mise en œuvre des opérations consistent en des interventions ponctuelles, souvent organisées de manière indépendante : ce fut par exemple le cas dans le passé sur les lacs et les étangs landais et plus récemment sur le bassin de la Vilaine. Ces actions non coordonnées montrent rapidement leurs limites dès lors que les gestionnaires mettent en place des analyses à l'échelle des bassins versants.

Des éléments assez faciles à présenter peuvent contribuer à faire évoluer les démarches des gestionnaires ; la variabilité de la production de biomasse ou d'occupation des sites par les jussies, les différences dans les calendriers de développement des plantes (sur le Marais d'Orx, des décalages de près d'un mois ont pu être observés entre un printemps froid et pluvieux et un printemps chaud et ensoleillé) ou l'évolution à moyen terme de sites où des observations existent depuis plusieurs années, peuvent par exemple servir de démonstration quant aux difficultés de prévision des quantités de plantes à retirer ou de programmation pluriannuelle trop rigide des travaux.

Une des contraintes importantes pour les gestionnaires réside en effet dans les estimations des coûts de gestion et l'obtention des financements correspondants. Ces estimations ne peuvent jamais être très précises du fait de la très forte variabilité de ces coûts (d'un site à l'autre (configuration, accès..) et d'une année à l'autre. Il est donc particulièrement difficile de prévoir les moyens humains et matériels à déployer pour mettre en place les éléments financiers d'un plan de gestion.

Le suivi des travaux réalisés sur les différents sites devrait permettre de proposer des types de gestion adaptés à chaque contexte : par exemple, la gestion réalisée sur le Don (arrachage mécanique la première année puis suivi régulier par arrachage manuel) donne de bons résultats au bout de 5 ans de mise en œuvre ; il en est de même sur le Marais Poitevin. Les méthodes appliquées sur le site de la Mandine (arrachage manuel très régulier, presque mensuel, possible grâce à la faible étendue du site) semblent montrer également de très bons résultats. En revanche, la gestion réalisée sur le site des étangs d'Apigné (curage d'un petit étang sans entretien ultérieur) s'est montrée totalement inefficace 2 ans après et pourrait même avoir entraîné l'augmentation du nombre de sites de colonisation.

Les relations établies avec certains gestionnaires, avant ce projet, et confortées durant, ainsi que les nouveaux contacts engagés à l'occasion de ce projet donnent de résultats tangibles au bout d'un nombre d'années qui n'est pas nécessairement en lien avec la durée d'un tel projet de recherche. Il est toutefois évident que la mise en œuvre de partenariats entre les participants au projet et divers gestionnaires et la présentation explicite de ces partenariats lors des différentes manifestations et réunions auxquelles nous avons participé ont eu pour conséquence un gain intrinsèque d'écoute de la part des interlocuteurs présents.

Quelques pistes de recherche ?

Elles concernent pour la plupart des aspects abordés dans le présent projet qui ne pouvaient être menés à terme dans le délai imparti.

Pour la partie **biologie**, les principaux points sont de poursuivre, pour les deux taxons, les investigations sur :

- leurs capacités d'adaptation dans les gammes de biotopes qu'elles colonisent,
- les modalités de production de biomasse,
- les modalités de reproduction sexuée et de développement des plantules, y compris l'aspect particulier d'une production éventuelle d'hybrides en milieu naturel.

En matière d'**écologie**, les pistes touchent à la fois à la géographie des invasions par ces deux taxons et à leurs impacts écologiques :

- analyse des modalités de dispersion au sein des réseaux d'hydrosystèmes et colonisation de nouveaux types de biotopes,
- analyse chronologique de l'invasion dans une optique de bioindication du changement climatique (extension vers le Nord des deux taxons),
- impacts sur le fonctionnement physicochimique des milieux aquatiques colonisés et en particulier conséquences de l'accumulation de matières dans les milieux stagnants,
- impacts sur la flore native et exotique (évolution de biodiversité),
- impacts sur les communautés de faune inféodée aux milieux aquatiques,
- colonisation de nouveaux types de biotopes comme en particulier les prairies humides.

Enfin, en matière de **gestion**, il est nécessaire que les efforts continuent de se porter sur :

- les analyses ethnobotaniques et économiques pouvant largement contribuer à améliorer les pratiques de gestion aussi bien en termes d'efficacité sociologique qu'en termes de programmation et de financement des interventions,
- les analyses techniques des interventions pour améliorer leur efficacité et réduire leurs impacts sur les communautés et les fonctionnalités des milieux non visés,
- une assistance à une amélioration de la coordination indispensable à toutes les échelles de territoire.

Enfin, toujours dans l'optique du présent projet, il nous semble indispensable que les relations entre la gestion et la biologie devraient être approfondies, en déterminant les interrelations entre les deux taxons, les caractéristiques fonctionnelles des sites et les implications pour la gestion. Il serait par exemple important d'établir des modèles ou des systèmes d'évaluation des risques de nouvelles colonisations.

BIBLIOGRAPHIE

- Abellard C., Causse G., Deléglise A., Petrucci L., Piedvache C., Podeur C., Revéret N., Violle C., sous la direction de Haury J., 2001. – La Jussie dans la basse vallée du Don : gestion intégrée et analyse des proliférations. Atelier thématique Génie de l'Environnement, ENSAR : 30 p. + ann.
- Abou-Hamdan H., Haury J., Hebrard J. P., Dandelot S., Cazaubon A., 2005. Macrophytic Communities Inhabiting the Huveaune (South-East France), a River Subject to Natural and Anthropic Disturbances. *Hydrobiologia*, 551, 1, 161-170
- Amigues JP., Bonnieux F., Le Goffe Ph., Point P. (1995) *Valorisation des usages de l'eau*, Economica, Paris, 112 p.
- Amoros, C., Bornette, G. & Henry, C.P. 2000. A vegetation-based method for ecological diagnosis of riverine wetlands. *Environmental Management* **25** (2) : 211-227.
- Ancrenaz, K.; Dutartre A., 2002, Répartition des jussies en France métropolitaine. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Etude N° 73, 18 p + annexes.
- Anonyme., 1999. Dynamique développement de *Ludwigia* spp dans le Marais Poitevin. IIBSN, rapport, 30 p. + annexes
- Arom S., Augé M., Bahuchet S. et alii, 1993. - *La science sauvage : des savoirs populaires aux ethnosciences* », paris, éditions du Seuil, coll « Points » 212 p.
- Averett J.E., Zardini E.M. Hoch P.C., 1990. Flavonoides systematics of ten sections of *Ludwigia* (Onagraceae). *Biochem. Systematics Ecol.* 18(7/8) : 529-532
- Barrat-Segretain M.H. 1996. Strategies of reproduction, dispersion and competition in river plants: A review. *Vegetatio* **123**: 13-37.
- Baumstark L. 2001. Analyse économique et développement durable dans le secteur des transports: le rapport Boiteux II. *Annales des Mines*, octobre 55-65.
- Berner L., 1956. Observations sur *Jussieua repens* L.(=J. *grandiflora* Michx.). *Arch. Hydrobiol.*, **52** (1-2) : 287-291.
- Berner L., 1971. Note sur *Jussieua* en France. *Bulletin du Centre d'Etudes et de Recherche Scientifique de Biarritz*, **8** : 675-692.
- Bertrin V., 2001. Colonisation végétale des hydrosystèmes. Application aux Etangs de Moisan (Landes) et de Cousseau (Gironde) et à leurs chenaux d'alimentation. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Université de Corse, Maîtrise de Sciences et techniques "Valorisation des ressources naturelles". Mémoire, 34 pages + annexes
- Bolòs i Capdevila, O. de (1998). Atlas corològic de la flora vascular dels Països catalans. Primera compilació general. Part II: *Lagurus-Zygophyllum*, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.
- Bonnieux F., Le Goffe Ph., 1997. Valuing the benefits of landscape restoration : a case study of the Cotentin in Lower-Normandy, France. *Journal of Environmental Management* **3**, 321-333.
- Bonnieux F., Le Goffe Ph., 1998. Cost-benefit analysis of landscape restoration : a case study in western France, in : *Economics of wildlife and landscape conservation* (S. Dabbert, A. Dubgaard, L. Slangen and M. Whitby eds), CAB-International, 85-96.
- Bonnieux F., Le Goffe Ph., Vermersch D., 1995. La méthode d'évaluation contingente : application à la qualité des eaux littorales. *Economie et Prévision* n°117-118, 1995/1-2, 89-106.
- Callon M, 1986. Eléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint Jacques et des marins pêcheurs en baie de Saint Briec *L'année sociologique*, **36**, 169-208.
- Callon M., Lascoumes P., Barthe Y., 2001. Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique, Ed du Seuil, la Couleur des Idées, 357 p.
- Castagnos E., 1998. Analyse typologique de la colonisation de différents étangs landais par des plantes aquatiques exotiques. Université de Bordeaux 3, DESS Ingénieries de l'Eau. Mesures et méthodes. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux, mémoire, 182 p.
- Castagnos E., Dutartre A., 2001. Evolutions récentes des peuplements de plantes aquatiques exotiques dans les lacs et les étangs landais (Landes, France). Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Etude N° 66, 227 pages
- Castroviejo, S., C. Aedo, C. Benedí, M. Laínz, F. Muñoz Garmendia, G. Nieto Feliner & J. Paiva (1997). *Flora Iberica*. Vol. VIII: Haloragaceae-Euphorbiaceae. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.

- Charbonnier C., 1999. Dynamique de développement de *Ludwigia* spp. Université de Montpellier II, Mémoire, DEA "Ecologie des systèmes aquatiques continentaux", Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux, 35 p. + annexes
- Cohen de Lara M. et Dron D. 1998. Evaluation économique et environnement dans les décisions publiques. Rapport au ministre de l'environnement. La documentation Française, Paris.
- Comité de gestion des Pays de la Loire pour la gestion des plantes exotiques envahissantes, 2004. Guide technique. Gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides. Editeurs : 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. Classeur, pagination multiple, édition Août 2004.
- Cook C.D.K., 1985. Range extensions of aquatic vascular plant species. *J. Aquat. Plant Manag.*, **23** : 1-6
- Cook C.D.K., 1990. Origin, autoecology, and spread of some of the world's most troublesome aquatic weeds. *Aquatic Weeds, the ecology and management of nuisance aquatic vegetation*, Pieterse A. & Murphy K. (eds.), Oxford University Press, 31-39.
- Corillion R., Servien E., 1986. Etude de la végétation des rives et grèves de la Loire (bras de Lombardières à Béhuard, les Ponts-de-Cé, Montjean). Première série d'observations : juillet-octobre 1986. Rapport dactylographié pour la DRE, Nantes, et le Service Régional de la Loire, Nantes, 91 p., 36 transects.
- Corillion R., Servien E., 1988. Etude de la végétation des rives et grèves de la Loire (bras des Lombardières à Béhuard, les Ponts-de-Cé, Montjean). Suivi scientifique (été 1988) et rapport final, décembre 1988. D.R.E. Nantes et Service Régional de la Loire. 22 p., 4 cartes.
- Damien J. P., 2001. Maîtrise des plantes aquatiques invasives dans le Parc Naturel de Brière. Synthèse et évaluation de la stratégie adoptée. Parc Naturel de Brière, rapport, 23 p. + annexes
- Debril, J., 2005. Gestion des déchets de jussie par le compostage. ENSA, INRA Rennes, DIREN Pays de la Loire, rapport, 37 p.
- Delattre L., Rebillard J. P., 1996. Etude de la végétation aquatique de l'Adour. C. E. P. E. E., Rapport pour l'Agence de l'Eau Adour Garonne, 63 pages + annexes
- Delaunay G., 2003. Document d'Objectifs Natura 2000. Sites FR 0 0629 (ZSC) et FR 52 1 2003 (ZPS) La vallée de la Loire des Ponts-de-Cé à Montsoreau. (Objectifs 2004 - 2008). P.N.R. Loire-Anjou-Touraine
- Delort I., 1999. Deux espèces végétales menaçantes dans les eaux du Marais d'Orx : la jussie et l'égéria. Statut d'envahissement des eaux courantes de la Réserve Naturelle, propositions de gestion. Lycée agricole de Poisy, mémoire de BTSA "Gestion et protection de la Nature", option "gestion des espaces naturels", Réserve Naturelle du Marais d'Orx, 81 p.
- Desaigues B., Point P. (1992) *Economie du patrimoine naturel, la valorisation des bénéfices de protection de l'environnement*. Economica, Paris.
- Di Castri F., 1990. On invading species and invaded ecosystems : the interplay of historical chance and biological necessity. 3-16. in " Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin". in Di Castri *et al.*, Eds., *Monographiae Biologicae*, vol. 66, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 463 p.
- Di Castri F., Hansen A.J., Debussche M. (Eds), 1990. Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin. *Monographiae Biologicae*, vol. 66, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 463 p.
- Dosda V., 2000. Prescriptions de gestion de *Ludwigia* spp dans quatre milieux aquatiques du Sud Ouest. Réserve Naturelle du Marais d'Orx (40), Marais Poitevin (79, 85), Etang de Garros (40) et l'Isle (24). B.T.S.A. Gestion et Protection de la Nature, Option Gestion des Espaces Naturels. Cemagref, Unité de Recherches Qualité des Eaux, 49 p. + annexes.
- Drake J.A., Mooney H.A., Di Castri F., Groves R.H., Kruger F.J., Rejmanek M., Williamson M., (Eds), 1989. Biological Invasions, a global perspective. Scope 37, John Wiley & Sons, London, 525 p.
- Dutartre A., 1978, Végétation aquatique : plantes exotiques du sud-ouest, répartition actuelle et risques d'extension. *CTGREF, Groupement de Bordeaux, Compte rendu N° 45* : 26 p

- Dutartre A., 1986, Aquatic plants introduced in freshwater lakes and ponds of Aquitaine (France) : dispersion and ecology of *Lagarosiphon major* and *Ludwigia peploides*. *Proceedings EWRS/AAB 7th symposium on aquatic weeds*, 93-98
- Dutartre A., 1992, Gestion de la végétation aquatique. Proliférations de certaines espèces, nuisances induites et mode de contrôle. *Actes des Journées techniques sur les lacs et les étangs aquitains, Cemagref - Agence de l'eau Adour-Garonne, Ass. Fr. de Limnologie, 14-15 mai 1992*, 213-232
- Dutartre A., 1995. Les plantes exotiques, de simples curiosités ou de véritables risques pour l'environnement ? *ANPP, XVI^e Conférence du Columa, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*, 6, 7 et 8 déc., Reims, 9 p.
- Dutartre A., 1999. Suivi scientifique de la Réserve Naturelle du Marais d'Orx. Qualité des eaux, végétation aquatique. Synthèse 1999. Cemagref, Groupement de Bordeaux, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Rapport, 30 p.
- Dutartre A., 2001. Panorama des modes de gestion des plantes aquatiques : nuisances, usages, techniques et risques induits. In " La prolifération de la végétation aquatique en plan d'eau : problématique et solutions". Journée d'information de la Fédération Lorraine d'Aquaculture Continentale – Gestion et entretien des plans d'eau, Nancy, 27 avril 2001, 15 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., Capdevielle P., 1982, Répartition actuelle de quelques végétaux vasculaires aquatiques introduits dans le sud-ouest de la France. *Studies on aquatic plant, Symoens J.J., Hooper S.S., Compère P. (eds.), Bruxelles*, 390-393.
- Dutartre A., Castagnos E., Daudin D., 2002. Caractéristiques de la colonisation de deux étangs landais par les jussies. *Actes des Journées Techniques "Gérer les Jussies ?"*, Soustons, janvier 2001. Conseil Général des Landes, Cemagref, 7 p (à paraître).
- Dutartre A., Castagnos E., Laplace-Treytore C., 1999. Suivi du développement des plantes exotiques sur quatre étangs landais (Garros, Léon, Soustons, Ychoux). Propositions d'interventions. Cemagref, Groupement de Bordeaux, Unité de Recherche Qualité des Eaux. GEOLANDES, Etude N° 38, 95 p.
- Dutartre A., Charbonnier C., Dosda V., Fare A., Saint Macary I., Touzot O. 2001. Les jussies dans le Sud Ouest de la France : production primaire, composition chimique et évolution des litières. *Actes des Journées Techniques "Gérer les Jussies ?"*, Soustons, janvier 2001. Conseil Général des Landes, Cemagref, 6 p.
- Dutartre A., Delarche A., Dulong J., 1989. Plan de gestion de la végétation aquatique des lacs et étangs Landais. Etude Cemagref N° 38, Géolandes, GERE, 121 p.
- Dutartre A., Fare A., 2002. Guide de gestion des proliférations de plantes aquatiques. Agence de l'Eau Adour Garonne, Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux, rapport, 121 pages .
- Dutartre A., Haury J., Castagnos E., Touzot O., (à paraître). Bilan de l'extension des jussies dans le bassin versant de la Vilaine : importance de la formation des acteurs. *Actes des Journées Techniques "Gérer les Jussies ?"*, Soustons, janvier 2001. Conseil Général des Landes, Cemagref, 6 p.
- Dutartre A., Haury J., Planty-Tabacchi A. M., 1997. Introduction de macrophytes aquatiques et riverains dans les hydrosystèmes français métropolitains. Essai de bilan. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 344/345 : 407-426.
- Dutartre A., Oyarzabal J., 1993. Gestion des plantes aquatiques dans les lacs et les étangs landais. *Hydroécol. Appl.* 5 (2) : 43-60.
- Dutartre A., Touzot O., 1999. Modalités de gestion des plantes aquatiques envahissantes dans le département de la Vendée. Expertise et propositions. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Etude Cemagref, Groupement de Bordeaux N° 46, 107 p.
- Dutartre A., Touzot O., Pont B., 2000. Plantes introduites dans les Réserves Naturelles : bilan et éléments de gestion. *Conserv'Action*, revue inter-réseaux pour la conservation du patrimoine naturel. Numéro 0, 4-8.
- Dutartre, A.; Touzot O., 1999, Modalités de gestion des plantes aquatiques envahissantes dans le département de la Vendée. Expertise et propositions. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Etude N° 46, 107 p.

- Eigle D., Dutartre A., 1997. Bilan des proliférations végétales exotiques aquatiques dans le département des Landes. Répartition, bilan des actions engagées pour les contrôler, propositions. CEPEE, Conseil Général des Landes, rapport, 112 p. + annexes.
- Eiswerth M.E., Johnson W.S., 2002. *Managing non indigenous invasive species: Insights from dynamic analysis*. Environmental and Resource Economics, 23 (3) 319-342
- Friedberg C., 1992. Représentation, classification, comment l'homme pense ses rapports au milieu naturel », in JOLLIVET Marcel (dir), *Sciences de la nature, sciences de la société : Les passeurs de frontières*, Paris, CNRS Editions, 1992, 589p, 357-371.
- Friedberg C., 1968. Les méthodes d'enquête en ethnobotanique. Comment mettre en évidence les taxinomies indigènes ? » *JATBA*, XV (7-8), 297-324.
- G.I.S. "Macrophytes des Eaux continentales", 1997. Biologie et écologie des espèces végétales proliférantes en France. Synthèse bibliographique. Les Etudes de l'Agence de l'eau N° 68, 199 p.
- Gaevskaya, N.S. 1969. The role of higher aquatic plants in the nutrition of animals of freshwater basins. National Lending Library of Science and Technology, Yorkshire, England, 3 vols. 629 p.
- Grillas P., 1998. Programme de lutte contre les espèces exotiques envahissantes dans les espaces protégés du Languedoc-Roussillon. Rapport final. Rapport non publié, Station Biologique de la Tour du Valat, 42p
- Grillas P., Tan Ham L., Dutartre A. & Mesléard F., 1992. Distribution de *Ludwigia* en France. Etude des causes de l'expansion récente en Camargue; ANPP 15° Conférence COLUMA, Versailles décembre 1992; pp: 1083-1090.
- Haury J., Jaffré M., Dutartre A., Peltre M.C., Barbe J., Trémolières M., Guerlesquin M., Muller S., 1998. Application de la méthode " Milieux et végétaux aquatiques fixés " à 12 rivières françaises. Typologie floristique préliminaire. *Annales de Limnologie*, 34 (2), 129-138.
- Havet F., 2003. Etude des capacités de germination des jussies du Marais Poitevin en conditions de laboratoire. Institut Universitaire de Technologie, Département Génie Biologique, La Roche sur Yon. Mémoire, 60 p. + annexes
- Hendoux F. Poitou A., Gavory L., 1999. Les espèces naturalisées ou en voie de naturalisation à caractère de "peste végétale" en Picardie. Centre Régional de Phytosociologie, Conservatoire Botanique National de Bailleul. Rapport pour Le Conseil Régional de Picardie. 70 p.
- IIBSN, 2001. Dynamique de développement des Jussies dans le Marais Poitevin. Rapport Institution Interdépartementale du Bassin de la Sèvre Niortaise, 35 p. + annexes.
- IIBSN, 2003. Etude des capacités de germination des jussies du Marais Poitevin en conditions de laboratoire. Institution Interdépartementale du Bassin Versant de la Sèvre Niortaise, rapport, 77 p.
- Javaux E., 1999. Lutte contre la jussie dans le Marais Poitevin. Expérience sociale et expérimentation scientifique. ISEME, Mémoire "Environnement, qualité et gestion de l'eau", IIBSN. 36 p. + annexes
- Johansson P.O. 1993. Cost-benefit analysis of environmental change. Cambridge university Press, Cambridge.
- Jovet P., Bourasseau, 1952. *Jussieua repens* L. var. *glabrescens* Ktze et *J. michauxiana* Fern. (= *J. grandiflora* Michx.) en France. *Le Monde des Plantes* QUEL N° ? : 285-286.
- Jovet P., Vilmorin R., 1979. Supplément à la Flore descriptive et illustrée de la France de Coste. Second volume. 173 p.
- Kolstad C.D. 2000. Environmental Economics. Oxford University Press, New York.
- Lambert-Servien E., 1995. Contribution à l'étude phytoécologique des étangs de l'Anjou et de ses proches limites. Thèse en Sciences biologiques Rennes 1 : texte 127 p, annexes 113 p.
- Lambert-Servien E., 1998. Cartographie des groupements végétaux observés dans quelques étangs de référence de Maine-et-Loire et de Loire-Atlantique. *Bull. Soc. Et. Sci. Anjou*, 16 : 59-78.
- Lambert-Servien E., 2001. Suivi des impacts du seuil expérimental du Fresne-sur-Loire/Ingrandes – Thème 3 : Patrimoine naturel : flore et végétation, Centre d' Etude et de Recherche sur les Ecosystèmes Aquatiques / U.C.O. – Angers. Rapport 2001 pour les Voies Navigables de France. 25 p. + annexes.
- Lambert-Servien E., Haury J., Guerlesquin M., 1998. Variabilité spatio-temporelle des groupements végétaux d'un étang angevin (France). *Annls de Limnol.* 34 (1) : 23-33.
- Lambinon J., 1997. Les introductions de plantes non indigènes dans l'environnement naturel. Conseil de l'Europe, Sauvegarde de la nature, N° 87, 28 p.

- Lambinon, J., 1998. La troisième édition de la version néerlandaise de la Flore de la Belgique et des Régions voisines: commentaires taxonomiques, nomenclatureaux et chorologiques. *Dumortiera* 70-71: 2-44.
- Lambinon, J., De Langhe J.-E., Delvosalle L., Duvigneaud J., 1992. Nouvelle Flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des Régions voisines. 4^{ème} éd. Ed. du Patrimoine du Jardin Botanique National de Belgique, Meise.
- Latour Bruno, 1994. Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie symétrique, Paris, Ed La Découverte, 211 p.
- Laydier H., 1999. Flore exotique et invasions végétales sur les berges du Rhône. *La Garance Voyageuse*, N° 48, 35-40.
- Le Goffe Ph., 1995. The benefits of improvements in coastal water quality : a contingent approach. *Journal of Environmental management* 45, 305-317.
- Le Goffe Ph., 1996. La méthode des prix hédonistes : principes et application à l'évaluation des biens environnementaux. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, numéro spécial Economie de l'environnement 39-40, 179-198.
- Le Goffe Ph., 1999. Evaluation des politiques publiques d'assainissement en zone littorale : l'analyse coûts-bénéfices appliquée au cas de la rade de Brest. in: *La valeur économique des Hydrosystèmes : Méthodes et modèles d'évaluation des services délivrés* (P. Point ed.), Economica, Paris, 63-79.
- Le Goffe Ph., 2000. Hedonic pricing of agriculture and forestry externalities. *Environmental and Resource Economics*, 15 n°4, 397-401.
- Le Goffe Ph., Delache X., 1997. Impacts de l'agriculture sur le tourisme : une application des prix hédonistes. *Economie Rurale* 239, 3-10.
- Le Goffe Ph., Mahé L.P., Daucé P., 1999. Incitations à la multifonctionnalité de l'agriculture : les défis pour le CTE. *Pour* 164, 99-112.
- Lebougne C., 2001. Caractéristiques de développement de la jussie (*Ludwigia* sp.) dans la Réserve Naturelle du Marais d'Orx. Université de Pau et des Pays de l'Adour, DESS « Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques ». Réserve Naturelle du Marais d'Orx, 24 pages + annexes
- Légrand C., 2002. Pour contrôler la prolifération des jussies (*Ludwigia* spp.) dans les zones humides méditerranéennes. Guide technique. Agence Méditerranéenne de l'Environnement, 68 p.
- Lodge, D.M. 1991. Herbivory on freshwater macrophytes. *Aquat. Bot.* **41**: 195-224.
- Mahé L.P., Daucé P., Le Goffe Ph., Léon Y., Quinqu M., Surry Y., 1998. *Etude prospective sur l'agriculture bretonne*. Rapport à la Préfecture de Région Bretagne, 124 p.
- Maman L., Jomain Y., 2003. Les plantes envahissantes dans le bassin Loire-Bretagne. Mise en place d'un groupe de travail spécifique à l'échelle du bassin. Equipe pluridisciplinaire Loire grandeur nature, plaquette, novembre 2003, 4 p.
- Matrat, R., Anras, L., Vienne, L., Hervochon, F., Pineau, C., Bastian, S., Dutartre, A., Haury, J., Lambert, E., Gilet, H., Lacroix, P., Maman, L. - 2004. Guide technique pour la gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides. Comité des Pays de la Loire, Nantes, 68 p.
- Mériaux J.L., 1978. - Etude analytique et comparative de la végétation aquatique d'étangs et de marais du Nord de la France. *Doc. Phytosociol.* **3** : 1-244.
- Mériaux, J.L. & Gehu, J.M. 1979. Réactions des groupements aquatiques et subaquatiques aux changements de l'environnement. Tüxen, Cramer. Epharmonie : 121-142.
- Muller S., 2000. Les espèces végétales invasives en France. Bilan des connaissances et propositions d'actions. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, supplément 7, 53-69
- Oyarzabal J., 1998. Gestion des plantes aquatiques proliférantes : les étangs littoraux landais. *Biocosme mésogéen*, 15 (1) : 109-122.
- Ozimek T., Gulati R., Van Donk E., 1990. Can macrophytes be useful in biomanipulation of lakes ? The Lake Zwemlust example. *Hydrobiol.*, 200/201 : 399-407
- Pieterse A.H., Murphy K. J., 1990. Aquatic Weeds. The ecology and management of nuisance aquatic vegetation. Oxford University Press, New York, 593 p.
- Pipet, N., 1995. Maîtrise de la prolifération et valorisation des végétaux flottants et subaquatiques du Marais Poitevin. Mémoire de BTSA "Gestion et protection de la nature", IIBSN, 39 p. + annexes.

- Pipet, N., 2002. Management of *Ludwigia* spp in Marais Poitevin (West of France). In : Actes 11^o Symposium International EWRS, Gestion des plantes aquatiques, Moliets et Maa, Dutartre A. ; Montel M. H. Eds., p. 389-392
- Rejmankova E, 1992. Ecology of creeping macrophytes with special reference to *Ludwigia peploides* H.B.K.) Raven. *Aquatic Botany*, 43 : 283-299.
- Roy J., 1990. In search of the characteristics of plant invaders. 335-352. in " Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin". Di CASTRI et al., Eds., *Monographiae Biologicae*, vol. 66, Kluwer Academic
- Saint-Macary I, 1998. Dynamique de *Ludwigia peploides* au Marais d'Orx. Mémoire de DESS "Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques". Université de Pau et des Pays de l'Adour, UFR Sciences et Technologie, Bayonne. 22 p. + annexes
- Sarker R., Surry Y. (1998) Economic value of big game hunting : the case of moose hunting in Ontario. *Journal of Forest Economics* 4, 29-60.
- Scheffer, M. (2002). Waterteunisbloem (*Ludwigia grandiflora*) Een nieuwe exotische plant woekert in Nederlands water. in http://www.dow.wau.nl/aew/Projects/info_waterteunisbloem.html
- Sculthorpe C.D., 1967, The biology of aquatic vascular plants. *Edward Arnold (publishers) Ltd. London*, 610 p
- Servien E., Corillion R., 1987. Etude de la végétation des rives et grèves de la Loire (bras des Lombardières à Béhuard, les Ponts-de-Cé, Montjean). 2ème série d'observations : juillet-octobre 1987. D.R.E Nantes et Service Régional de la Loire, Nantes, 18 p., 2 transects, 4 cartes.
- Spasovski S., 2001. – Les espèces envahissantes dans les problématiques environnementales. Essai d'analyse du coût et du bénéfice de la gestion de la Jussie dans trois espaces protégés pilotes du Languedoc-Roussillon. Université Paul Valéry, Montpellier III. Maîtrise de Géographie, Option Environnement. Agence Méditerranéenne de l'Environnement. Mémoire de stage, 123 p. +
- Touzot, O., Dutartre A., 2001. Expérimentation de germination de graines et de développement de plantules de jussies en conditions de laboratoire. In : Actes des Journées Techniques "Gérer les Jussies ?", Soustons, janvier 2001. Conseil Général des Landes, Cemagref, 8 p.
- UNIMA, 1999. Contrôle de l'expansion des végétaux aquatiques exotiques proliférants en Charente Maritime. Etude et expérimentation. Rapport, 35 p. + annexes
- Van Tilbeurgh V., 1994. - *L'huître, le biologiste et l'ostréiculteur : lectures entrecroisées d'un milieu naturel*, Paris, Ed. l'Harmattan, collection "Logiques Sociales", 248 p.
- Vanhoutte A., 2000. Colonisation par les plantes aquatiques d'un aménagement ponctuel sur un cours d'eau. Ruisseau de La Prade et chenal de réalimentation de l'étang de Moïsan (Landes). Université de La Rochelle, Mémoire de Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Rapport, 31 pages.
- Vauthey, M. , Jeanmonod D., Charlier P., 2003. La jussie - *Ludwigia grandiflora* (Michx.) Greuter & Burdet - une nouvelle espèce pour la Suisse et un nouvel envahisseur. *Saussurea*, 33, p.109 - 117.
- Verlaque,R., Aboucaya A., Fridlender A., 2002. Les xénophytes envahissants en France : Ecologie, types biologiques et polyploïdie. *Botanica Helvetica* 112 :121–136.
- Zardini E.M., Gu H., and Raven P.H., 1991b. On the separation of two species within the *Ludwigia uruguayensis* complex (Onagraceae). *Systematic botany*. 16 (2) : 242 - 244
- Zardini E.M., Peng C.I., Hoch P. C., 1991a. Chromosomes numbers in *Ludwigia* sections *Oligospermum* and *Oocarpon* (Onagraceae). *Taxon* 40:221-230

Valorisation des travaux

Articles publiés, sous presse, soumis pour publication

- Damien, J. P., Dutartre, A. - 2007. Conservation des écosystèmes sensibles des marais guérandais et briérons face à la problématique croissante des espèces envahissantes. Les Cahiers du Pays de Guérande, n° 46, p. 3 - 8
- Dandelot S., Matheron R., Le Petit J., Verlaque R., Cazaubon A., 2005. Variations temporelles des paramètres physicochimiques et microbiologiques de trois écosystèmes aquatiques (Sud-Est de la France) envahis par des *Ludwigia*. C. R. Biologies 328, 991–999
- Dandelot S., Verlaque, R., Dutartre, A., Cazaubon, A., 2005. Ecological, dynamic and taxonomic problems due to *Ludwigia* (Onagraceae) in France. *Hydrobiologia*, vol. 551, p. 131 - 136
- Dutartre A., 2003. Invasion botanique. Pour la Science, N° 310, 2-5.
- Dutartre A., 2003. Plantes aquatiques exotiques et Réserves Naturelles d'Aquitaine. Sud Ouest Nature, N° 120-121. 32-36
- Dutartre, A., 2004. De la régulation des plantes aquatiques envahissantes à la gestion des hydrosystèmes. Ingénieries - E A T, n° spécial Ingénierie écologique, p. 87 – 100
- Dutartre, A., Menozzi, M. J. – 2005 a. De la gestion des plantes aquatiques envahissantes : intervenir pour quoi, pour qui, avec quelles modalités ? Ou comment agir malgré la variabilité des situations et des enjeux. 17^e Journées Scientifiques de la Société d'Ecologie Humaine. Colloque International "Incertitude et Environnement, Mesures, Modèles, Gestion". Arles, 23-25 novembre 2005. 14 p (article à paraître dans un ouvrage de la Société d'Ecologie Humaine)
- Dutartre, A., Oyarzabal, J., Fournier, L., 2005 b. Interventions du Syndicat mixte Gélolandes dans la régulation des plantes aquatiques envahissantes des lacs et des étangs du littoral landais. *Aestuarina*, n° 6, p. 79 – 97
- Menozzi, M. J., 2007. La jussie, belle plante, mauvaise envahisseuse ? La Garance Voyageuse N° 78, 19-22.
- Menozzi, M. J., Dutartre, A., 2007. Gestion des plantes envahissantes : limites techniques et innovations socio-techniques appliquées au cas des jussies. Ingénieries - E A T, n° 49, p. 49 – 63
- Petelszyc, M., Dutartre, A., Dauphin, P., 2006. La jussie (*Ludwigia grandiflora*) plante-hôte d'*Altica lythri* Aubé (Coleoptera Chrysomelidae) : Observations in situ dans la Réserve Naturelle du Marais d'Orx (Landes) et en laboratoire. Bulletin de la société linnéenne de Bordeaux, vol. 141, n° 34, p. 221 - 228

Thèmes des articles envisagés

(liste non exhaustive, les titres cités sont tout à fait provisoires)

- Invasion du territoire français par les jussies (*Ludwigia* spp) : bilan et mesures de gestion (communication orale proposée dans une conférence internationale, Cracovie, août 2005, publication prévue dans un ouvrage),
- Taxinomie des jussies présentes en France (caryologie et morphologie des pièces florales permettant leur détermination) (revue non encore précisée)
- Typologie des biotopes ligériens colonisés par les jussies, modes de colonisation et processus de compétition (revue non encore précisée),
- Capacités de germination des jussies (revue non encore précisée),
- Modalités de gestion des jussies en France hors zone méditerranéenne (proposition de communication à un atelier de travail, Montpellier, mai 2005, revue non encore précisée)
- Gestion des jussies dans le Marais Poitevin (publication envisagée dans la revue Ingénieries),
- Les jussies (*Ludwigia* spp), des plantes concurrentes des activités humaines dans les milieux humides ou des révélatrices de dysfonctionnements ? (communication à un colloque international sur la sociologie en environnement, Marseille, juin 2005, publication non encore précisée)
- Approche économique des modes de gestion des jussies en France (communication réalisée dans un colloque international consacré à l'économie, Bremen, Juin 2005, publication envisagée dans une revue non précisée)

Rapports de fin d'étude

- Ancrenaz K., 2003. Mise en place d'une base de données sur les plantes aquatiques invasives sur le territoire français. Mémoire de DESS Sciences de l'Information Géoréférencée pour la Maîtrise de l'Environnement et l'Aménagement du Territoire, Université de Toulouse Le Mirail, 48 p. + annexes.
- Attinault K., Frumholz A., Pierroux A. (sous la direction de J. Haury), 2006. La gestion des plantes aquatiques envahissantes : choix des méthodes adaptées et coûts de gestion. Atelier thématique Génie de l'Environnement, Agrocampus Rennes : 46 p.
- Barreau M., Delcourt V., Faine L., Lambrechts A. (sous la direction de J. Coudreuse et J. Haury), 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., décembre 2003. Quantification de la Jussie et analyse des problèmes de gestion sous contrainte de modification sur le marais de Gannelled. Mémoire ENSAR de 3^{ème} année « Génie de l'environnement », Atelier Thématique « Jussie », 39 p.
- Brugale E., 2005. Analyse de la distribution et plan de gestion de la Jussie (*Ludwigia grandiflora* ssp. *hexapetala*) sur le site des étangs d'Apigné. Mém. Master 1 Gestion intégrée des bassins versants, Univ. Rennes 1 & U.M.R. INRA-Agrocampus Rennes Ecobiologie et Qualité des Hydrosystèmes Continentaux : 21 p. +ann.
- Chény G., 2004. Propositions pour un programme de gestion coordonnée des plantes proliférantes sur le bassin de la Vilaine. Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, spécialisation « Agricultures et Milieu Rural », Nancy. Institution d'Aménagement de la Vilaine, la Roche-Bernard. 33 p + annexes.
- Crouzil E., Gasc D., Goetschel F., Le Féon V., Mayeras f., Millot A.-I., Monroux J., Payet N., Vincent C., sous la direction de J. Coudreuse,, J. Haury, B. Ruaux 2004. Etude quantitative de la colonisation par la Jussie (*Ludwigia hexapetala*) des étangs d'Apigné (Rennes). Mém. Atelier Thématique Génie de l'Environnement, Agrocampus Rennes : 104 p. +ann. (Partenaire : Ville de Rennes)
- Dandelot S. 2004. Les *Ludwigia* spp invasives du sud de la France : historique, biosystématique, biologie et écologie. Université Paul Cézanne Aix Marseille, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme. Thèse de doctorat, 213 p.
- Debril J. W. (sous la direction de R. Matrat & J. Haury) 2005. Gestion des déchets de Jussie par le compostage – Document de synthèse de Debril (2005). DIREN des Pays de la Loire Nantes & INRA-Agrocampus Rennes Ecobiologie et Qualité des Hydrosystèmes Continentaux, Comité Régional de Lutte contre les Espèces envahissantes : 6 p.
- Debril J. W., 2005. Rôle des macrophytes aquatiques dans la dynamique de l'azote et du phosphore dans les étangs d'Apigné (Rennes, France). Mém. M2 Recherche Science Technologie Santé, Sciences de l'Environnement, Spéc. Bassin versant, Eau, Sol, Univ. Rennes I & U.M.R. INRA-Agrocampus Rennes Ecobiologie et Qualité des Hydrosystèmes Continentaux : 16 p. +ann. (encadrement avec J. Coudreuse)
- Gerard L., 2003. Dynamique des peuplements de végétaux aquatiques de l'étang de Léon, Landes. Propositions de gestion. Mémoire d'IUP Environnement Géo-Ingénierie et Développement, Institut EGID Bordeaux 3, 54 p. + annexes.
- Guillas V., 2003. La rivière Le Don : étude de sa basse-vallée; orientations de gestion d'une plante envahissante : la Jussie. Rapport de B.T.S.A. Gestion et Protection de la Nature, option Gestion des Milieux, Carquefou : 40 p. + ann.
- Helard E., 2004. Les jussies (*Ludwigia* spp.) et la végétation de la Loire : développement, caractérisation des impacts et propositions de gestion. C.E.R.E.A./U.C.O.-Angers. PNR Loire Anjou Touraine. Mémoire de DESS "Dynamique des écosystèmes aquatiques" Université de Pau et des pays de l'Adour. 33 p. + annexes.

- Hoogland E., 2004. Dynamique de développement de *Ludwigia* sp. dans le sud-ouest de la France. Mémoire de Master Eau, Santé, Environnement. Université Victor Ségalen, Bordeaux 2. 68 p. + annexes
- Kasdi F., 2004. Etude de l'écologie de la Jussie en milieu contrôlé (rigoles expérimentales du Rheu), influence des différents paramètres biotiques et abiotiques. Rapport de maîtrise de Biologie des populations et des Ecosystèmes, mention: environnement, Université de Rennes 1 : 14 p + annexes.
- Laffont M., 2004. Etude et suivi des populations de Jussie (*Ludwigia hexapetala*) sur les étangs des landes d'Apigné. Propositions de gestion. Rapport de stage de deuxième année, option « stage long », Institut National Agronomique de Paris-Grignon : 47 p. + annexes.
- Le Treis M., 2003. Eléments sur l'écologie de la Jussie et impact des enlèvements de Jussie en milieu aquatique. Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, INH d'Angers, INRA, DIREN Pays de Loire, 82 p + annexes.
- Leporcher J., 2003. Etude d'une plante envahissante : la Jussie. Dossier technologique, Bac STAE Aménagement-Environnement, Lycée Agricole La Touche Ploërmel, Agrocampus Rennes, 21 p + annexes.
- Million A., 2004. Maîtrise des proliférations de Jussie (*Ludwigia* spp.). Une première analyse économique. Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, spécialisation « Génie de l'environnement », Rennes. 51 p + annexes.
- Pelotte 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
- Prost N., 2003. Etude des caractéristiques de développement et propositions de modalités de gestion de la jussie (*Ludwigia* spp.) dans les annexes hydrauliques de la Loire entre les Ponts-de-Cé et Montsoreau (49). C.E.R.E.A./U.C.O.-Angers, PNR Loire Anjou Touraine. Mémoire de DESS "Environnement : sols, eaux continentales et marines" Universités de Caen et Rouen. 98 p. + annexes.
- Ruax B., 2004. Etude quantitative de quelques populations de Jussie (*Ludwigia hexapetala*) sur le bassin versant de la Vilaine – Propositions de gestion. Mémoire de fin d'études, DESS Environnement : Sol, Eaux continentales et marines. Universités de Rouen et Caen. 75 p. + annexes.
- Ruax B., Coudreuse J., Haury J., 2004. Les Jussies : caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines. Implications pour la gestion - Contribution de l'UMR E.Q.H.C. Rennes pour l'évaluation à mi-parcours du projet « Jussie – Invabio ». INRA-Agrocampus EQHC, Rennes : 24 p.
- Szadkowski E., 2005. Etude des traits phénologiques de populations de Jussies. Rapport d'Activité personnelle. Agrocampus Rennes : 12 p.

Participation à des colloques nationaux ou internationaux (communications orales ou graphiques)

- Dandelot S., Dutartre A., Haury J., Lambert E., Verlaque R., Cazaubon A., 2005. Impacts of invasive *Ludwigia* (Onagraceae) on french aquatic ecosystems. Comm. Aff., Intern. Workshop "Invasive Plants in Mediterranean Type Regions of the World", Mèze (France), 25, 26 and 27 May 2005.
- Dutartre A., 2003 a. Relations entre plantes aquatiques exotiques et biodiversité. l'exemple des plans d'eau et zones humides du littoral aquitain. Communication orale aux Journées Francophones de Conservation de la Biodiversité, Lyon, avril 2003.
- Dutartre A., 2003 b. Eléments sur les principaux végétaux exotiques envahissants en France. Colloque sur les espèces exotiques en zones humides. Sallertaine, Vendée, 13-14 novembre 2003.
- Dutartre A., 2003 c. Historique des invasions, répartition géographique et état actuel des populations des principales plantes exotiques envahissantes. Journée Technique Végétaux envahissants sur le Bassin Loire-Bretagne, Orléans 27 Novembre 2003.
- Dutartre A., 2003 d. Historique de quelques interventions de gestion de plantes exotiques envahissantes en France. Journée Technique Végétaux envahissants sur le Bassin Loire-Bretagne, Orléans 27 Novembre 2003.

- Dutartre A., 2003 e. Modalités de colonisation végétale des milieux aquatiques par des espèces envahissantes (*Lagarosiphon major*, *Ludwigia* spp et *Myriophyllum aquaticum*). Exemple de deux plans d'eau du littoral aquitain : les étangs de Moysan et de Cousseau. 46^e Congrès de l'Association Française de Limnologie "Biodiversité des écosystèmes aquatiques", Metz, 15-18 décembre
- Dutartre A., 2004. Invasion and management of the water primrose (*Ludwigia* spp) in France : a panorama. 13th International Conference on Aquatic Invasive Species, Ennis, Ireland, 19-24 septembre 2004.
- Dutartre, A. - 2005. Gestion des plantes aquatiques envahissantes, l'exemple des jussies . Colloque sur la gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides, Nantes, Hôtel de la Région, 9 mars 2005. p. 6 – 12
- Dutartre, A. - 2006. Gestion des plantes envahissantes : exemple des jussies. Conférence sur les espèces invasives, Société Nationale de Protection de la Nature, Paris, 25 novembre 2006. 30 p.
- Dutartre A., Dandelot S., Haury J., Lambert E., Legoffe P., Menozzi M. J. – 2005. Invasion et gestion des jussies (*Ludwigia* spp) en France : un panorama. Atelier International "Plantes envahissantes dans les régions méditerranéennes du monde", Mèze, 25-27 mai 2005
- Dutartre, A., Laplace Tryeture, C., Bertrin, V. - 2005. Plantes aquatiques exotiques envahissantes et difficultés d'évaluation de l'état écologique des plans d'eau dans le contexte de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Ecologie aquatique et Directive Cadre Européenne sur l'Eau, 6^{ème} Conférence Internationale des Limnologues et Océanographes (CILO), Vaulx-en-Velin, 4-7 juillet 2005.
- Dutartre, A., Menozzi, M. J. - 2005. De la gestion des plantes aquatiques envahissantes : intervenir pour quoi, pour qui, avec quelles modalités ? Ou comment agir malgré la variabilité des situations et des enjeux . 17^e Journées Scientifiques de la Société d'Ecologie Humaine. Colloque International "Incertitude et Environnement, Mesures, Modèles, Gestion". Arles, 23-25 novembre 2005.
- Dutartre, A., Petelczyc, M., Laplace Treytur, C., Bertrin, V., Madigou, C. - 2005. Germinations et dynamique de développement de plantules de *Ludwigia grandiflora* en milieu naturel et en conditions de laboratoire : une capacité de dispersion complémentaire pour une plante envahissante ?. ECOVEG 2: 2^e Congrès d'écologie des communautés végétales, Avignon, 5-7 avril 2006.
- Haury J., Dutartre A., Lambert E., coll. Dandelot S., Cazaubon A., 2003 a. Belles mais envahissantes ! les Jussies. Comité départemental pour la Nature et l'Environnement, Blois, 21 Novembre 2003.
- Haury J., Lambert E., Dutartre A., 2003 b. Identification, biologie et écologie des végétaux exotiques envahissants sur le bassin Loire-Bretagne. Journée Technique Végétaux envahissants sur le Bassin Loire-Bretagne, Orléans 27 Novembre 2003.
- Haury J., Ruaux B., Coudreuse J., 2005. Assessing the variability of colonisation by Water Primrose within an atlantic marsh. Comm. Orale 8th International Conference on the Ecology and Management of Alien Plant Invasions, Katowice, Poland, 5-12 september 2005,
- Menozzi M. J., Dutartre A., 2004. Les jussies : caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines. Implications pour la gestion. Séminaire INVABIO, Sciences Humaines et Sociales, Paris, 16 janvier 2004
- Oyarzabal J., Dutartre A., 2003. Interventions de gestion des plantes exotiques envahissantes dans les lacs et les étangs landais. Géolandes. Colloque sur les espèces exotiques en zones humides. Sallertaine, Vendée, 13-14 novembre 2003.
- Ropars-Collet C., Haury J., Le Goffe P., Mahé L.-P., Million A., Dutartre A., 2005. Importance of stock externalities in management strategies for invasive species. Comm. Orale 8th International Conference on the Ecology and Management of Alien Plant Invasions, Katowice, Poland, 5-12 september 2005
- Ruaux B., Coudreuse J., Haury J., 2005. Phénoplasticité de la Jussie dans les marais de Vilaine. Comm. or. Coll.-Débat « Invasions Biologiques et Traits d'Histoire de Vie », 30 Juin & 1^{er} Juillet 2005, Univ. Rennes I, Campus de Beaulieu, Résumé : p.12

Actions de transfert, de communication.

- Comité de gestion des Pays de la Loire pour la gestion des plantes exotiques envahissantes, 2004. Guide technique. Gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides. Editeurs : 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. Classeur, pagination multiple, édition Août 2004. (participation au comité rédactionnel : A. Dutartre, J. Haury, E. Lambert)
- Dutartre A., 2004 a. Les jussies : de belles mais rudes concurrentes dans les milieux aquatiques ! 1^o Rencontres Intersolognotes, Saint Marcilly en Gault, 17 avril 2004. (communication orale)
- Dutartre A., 2004 b. Les jussies : de belles mais rudes concurrentes dans les milieux aquatiques ! 3^o Chapitre Nature, Festival du livre Nature et Environnement. Le Blanc, 20-23 mai 2004. (communication orale)
- Dutartre A., 2004 c. Présentation générale des lacs et des étangs landais et de la dynamique de différentes espèces de leurs communautés végétales aquatiques. Nuisances, usages et usagers, intervention de régulation des plantes exotiques envahissantes des lacs et étangs landais. Session de formation "Plantes aquatiques", Géolandes, juin 2004. (communication orale)
- Dutartre, A. - 2005. Gestion des plantes aquatiques envahissantes, l'exemple des jussies . Colloque sur la gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides, Nantes, Hôtel de la Région, 9 mars 2005. p. 6 - 12
- Dutartre, A. - 2006. Les plantes aquatiques des lacs et des étangs du littoral aquitain : des plantes rares aux plantes envahissantes. Colloque "Lacs et lande", Editions lac et lande, Hossegor, p. 49 - 84
- Dutartre, A. - 2006. Gestion des plantes envahissantes : exemple des jussies. Conférence sur les espèces invasives, Société Nationale de Protection de la Nature, Paris, 25 novembre 2006. (communication orale)

Rapports

- 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. 101 p.
- Coudreuse J., Ruaux B., Debril J., Le Treis M., Haury J. 2006. Les Jussies: caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines. Implications pour la gestion. Contribution de l'UMR E.Q.H.C. Rennes au projet "Jussie – Invabio", rapport définitif, 28 p.
- Dutartre A., 2004. Présentation des lacs et des étangs landais, de la dynamique de quelques plantes aquatiques indigènes et exotiques et des modalités de gestion des plantes aquatiques exotiques envahissantes. Session de formation "Plantes aquatiques", Géolandes, juin 2004, rapport, 48 p.
- Dutartre A., Bertrin V., Laplace C., 2004. Suivi scientifique et technique des jussies (*Ludwigia* spp), Evaluation des biomasses produites, anse Sud Est de l'étang de Léon. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux, Rapport, 16 p.
- Dutartre, A., Petelczyc M. – 2005. Germination et dynamique de développement des plantules de *Ludwigia grandiflora* en milieu naturel et en conditions de laboratoire. Programme 2005. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux, Rapport, 55 p.
- Dutartre, A., Poumérولية, S., Madigou, C., Grange, J. - 2006. Germination et dynamique de développement des plantules de *Ludwigia grandiflora* en milieu naturel et en conditions de laboratoire : programme 2006. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux, Rapport, 46 p.
- Menozzi M. J., 2006. Que faire quand la jussie envahit les territoires ? Approche ethnologique des relations entre une plante envahissante, des acteurs sociaux et des territoires. Implications pour la gestion. Programme de recherche INVABIO, projet "Les jussies : caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines. Implications pour la gestion", rapport final, 144 p.
- Touzot O., Dutartre A., Leveau D., Pont B., 2003. Enquête sur les plantes introduites dans les Réserves Naturelles. Bilan 1998. Réserves Naturelles de France, rapport, 95 p.

ANNEXES

- Dandelot S., Verlaque, R., Dutartre, A., Cazaubon, A., 2005. Ecological, dynamic and taxonomic problems due to *Ludwigia* (Onagraceae) in France. *Hydrobiologia*, vol. 551, p. 131 - 136
- Menozzi M. J., 2005. What do we wait from science ? The case of the management of *Ludwigia* sp. Communication au colloque "Environment, knowledge and democracy", Marseille, 6-7 juillet 2005.
- Ropars-Collet C., Haury J., Le Goffe P., Mahé L.-P., Million A., Dutartre A., 2005. Importance of stock externalities in management strategies for invasive species. Comm. Orale 8th International Conference on the Ecology and Management of Alien Plant Invasions, Katowice, Poland, 5-12 september 2005

Ecological, dynamic and taxonomic problems due to *Ludwigia* (Onagraceae) in France

Sophie Dandelot¹, Régine Verlaque², Alain Dutartre³ & Arlette Cazaubon^{1,*}

¹Laboratoire d'Ecologie des Eaux Continentales Méditerranéennes (Case C 31), Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie – UMR 6116, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, Avenue Escadrille Normandie-Niemen, 13397, Marseille Cedex 20, France

²Laboratoire de Biosystématique et d'Ecologie Méditerranéenne (Case 4), Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie – UMR 6116, Faculté des Sciences de Saint-Charles, Université de Provence, 3, place Victor Hugo, 13331, Marseille Cedex 3, France

³Unité de Recherche Qualité des Eaux, Cemagref, 50 avenue de Verdun, 33612, CESTAS Cedex, France

(* Author for correspondence: Tel.: +04-91-28-84-33; Fax: +04-91-28-84-33; E-mail: arlette.cazaubon@univ.u-3mrs.fr)

Key words: *Ludwigia*, hydrophyte, taxonomy, cytogenetic, dynamic

Abstract

From their introduction in the beginning of the 19th century in the Lez river at Montpellier, the American *Ludwigia* have, progressively, colonized the whole of France. In spite of their real nuisance for natural habitats, these ornamental hydrophytes are still for sale. The management of these invasive species requires their precise identification, but this appears to be extremely complex. A morphological and cytogenetic study allowed to confirm the presence of two different taxa in France, and the absence of hybrids in the mixed zones that were monitored. The diploids ($2n = 16$) correspond to *L. peploides* subsp. *montevidensis* (Spreng.) Raven, and the decaploids ($2n = 80$) to *L. grandiflora* subsp. *hexapetala* (Hook. & Arn.) Nesom & Kartesz. The diploids colonize especially the Mediterranean region (except the Southeastern part), while the polyploids predominate throughout the other regions. Both taxa exhibit an intense vegetative growth, however they have a distinct breeding system: the self-compatible diploids were always found very fructiferous, whereas the self-incompatible polyploids were often observed as sterile. The breeding system difference could explain the substitution of *L. grandiflora* (first wave of invasion in the 19th century) by *L. peploides*, in the 20th century, in the southern part of France.

Introduction

An introduced species becomes a 'transformer invader' when its development produces serious ecological and economic problems (Richardson et al., 2000). The main consequence on ecosystems is the decline of native species, or even the extinction of rare and vulnerable taxa (Burke & Grime, 1996). A set of advantageous biological traits characterizes most invasive plants: competitive life strategy (Pysek et al., 1995), large ecological tolerance, vegetative growth, fast growth, longevity,

high seed production, good germination, plasticity of breeding systems, allelopathy, photosynthesis in C4 (Planty-Tabacchi, 1993) and polyploidy (Verlaque et al., 2002). All these assets are rarely found together on a given plant species, but the presence of one or two among them can sometimes be sufficient (Muller, 2000). However, the alien *Ludwigia* taxa possess most of these characters, which might explain their expansion in France (Aboucaya, 1999) and their classification among the 200 most aggressive world plant invaders (Cronk & Fuller, 1995).

History and actual problems caused by the alien *Ludwigia*

These amphibious hydrophytes cause serious ecological and economical problems for about thirty years in France. These macrophytes, of american origin, have been introduced deliberately towards 1830 (from the 'Jardin des plantes de Montpellier': Martins, (1866), under their ancient name *Jussiaea repens* L. s.l.) and perhaps accidentally (Port Juvénal). Initially, from the Lez, most other hydrographic systems of the Mediterranean area in France have been successively colonized. At the end of the 19th century, these taxa were found in the South-west (Bayonne: Guillaud, 1883). This introduction could also be a consequence of a naturalization experiment carried out at the botanical garden close to Bordeaux in 1882 (Ballais, 1969). During the 20th century, the increased use of *Ludwigia* spp. as ornamental aquatic plants have accelerated their expansion in Europa.

The large tolerance and adaptation of these taxa to the variations of hydrological and climatic conditions, as well as their strong ability to colonize, make them remarkable competitors. Their proliferation induces a silting up of aquatic ecosystems, a slowing down of water circulation (Dutartre, 1988), a floristic standardization and a strong local reduction fauna (macroinvertebrates and fishes: Grillas et al., 1992; Dutartre et al., 1997) and especially flora biodiversity. This last aspect is primordial for the patrimonial flora of Southeastern France (Hot-spot of biodiversity in Mediterranean area: Médail & Quézel, 1997) where most hydrophytes are threatened by extinction (Salanon, 2000; Verlaque et al., 2001). The intense vegetative growth of alien *Ludwigia* generates important biomasses up to 2 kg m⁻² of dry matter during the summer (GIS Macrophytes, 1997) and creates anoxic conditions that render aquatic life unfavourable. In the Durance river (Bouches-du-Rhône) the oxygen concentration falls to 1.5 mg l⁻¹ in the *Ludwigia* bed, during summer, when plants are in full growth above the water surface compared to an average of 10 mg l⁻¹ for the rest of the year (Dandelot et al., in press). Additionally, several American *Ludwigia* contain many compounds that are probably toxic to ecosystems: anti-diarrhoeal profile, antitumor and antibacterial activity (Murugesan et al., 2000; Das et al., 2002).

By vegetative growth, cuttings (stem or root) can generate new populations, whereas the role of sexual reproduction is less known. Within the genus, both inbreeding and outcrossing were reported however without mention of the species (Raven & Tai, 1979). Moreover, the data on fructification and the seed viability remain very controversial: fructification inexistent to abundant (Martins, 1866), very weak to highly variable rates of germination (Berner, 1971; Touzot & Dutartre, 2001).

The *Ludwigia* L. genus (including *Isnardia* L. and *Jussiaea* L.) contains 82 species and 23 sections (Zardini et al., 1991a). In France, the so-called 'Jussie' corresponds, in fact, to the large polyploid complex of the 8 species very polymorphous of the section *Oligospermum* (Mich.) Hara that are nearly all able to form interspecific hybrids (Zardini et al., 1991b). Whereas their morphological identification has always been very difficult and resulted in unending taxonomic changes and inextricable synonymy. Only exhaustive cytogenetic studies have solved one part of the problem by revealing the presence of two diploids, four tetraploids, one hexaploid and one decaploid species (Raven & Tai, 1979; Zardini et al., 1991b). This fundamental and diagnostic character therefore distinguishes the three morphologically closest taxa: *L. peploides* (2×), *L. grandiflora* (6×) and *L. hexapetala* (10×) which are regularly mentioned in France, under various names. Moreover, the confrontation of their different descriptions, in America (Munz, 1942; Zardini et al., 1991a; Nesom & Kartesz, 2000) as well as in Europe (Raven, 1963; Jovet & Bourasseau, 1952; Tutin et al., 1968; Guinochet & de Vilmorin, 1984) shows large divergences in the choice of the diagnostic criteria.

The present study deals with the identification and the inventory of the alien *Ludwigia* species in France, in order to specify the actual state of their expansion. The spread capabilities will be analysed through their breeding systems. The synthesis of our results should explain, at least partially, the numerous contradictory previous data.

Materials and methods

For the cytogenetic research, the plants of about forty sites, distributed all over France, have been

studied (Fig. 1). Breeding systems have been tested on seven populations of the South of France: (i) in the South-east: Alpes-Maritimes (Siagne river, at Pegomas and its affluent, Frayere river, at Auri-beau), Bouches-du-Rhône (a restored old gravel-pit, located near Puy-Saint-Réparate, close to Durance river and small swamp near Arles in Camargue), and (ii) in the South-west: the Landes (Biscarosse pond, Léon pond and Orx swamp).

Identifications of the alien *Ludwigia* have been done with a critical analysis of all the morphological traits found in specialized literature (habit, leaf form, pilosity, size of the different organs ...), along with chromosome counts realized on root

tips (Verlaque et al., 2002). In the summer of 2002, first observations have been done *in situ*: flowering times, type and frequency of pollinators, quantification and harvest of fruits. In the laboratory, at least 10 plants per population, of various origins, have been deprived of pollinator agents (insects and wind). During the summer of 2003, breeding tests (30 flowers per test) took place *in situ*, during the flowering season. On the stigma of castrated flowers, some pollen of the same flower, or of another plant, were deposited. Additionally, some crossings between individuals of populations from the same taxon but from different origins (examples: Siagne $\times$ Frayere; Alpes-Maritimes $\times$ Landes)

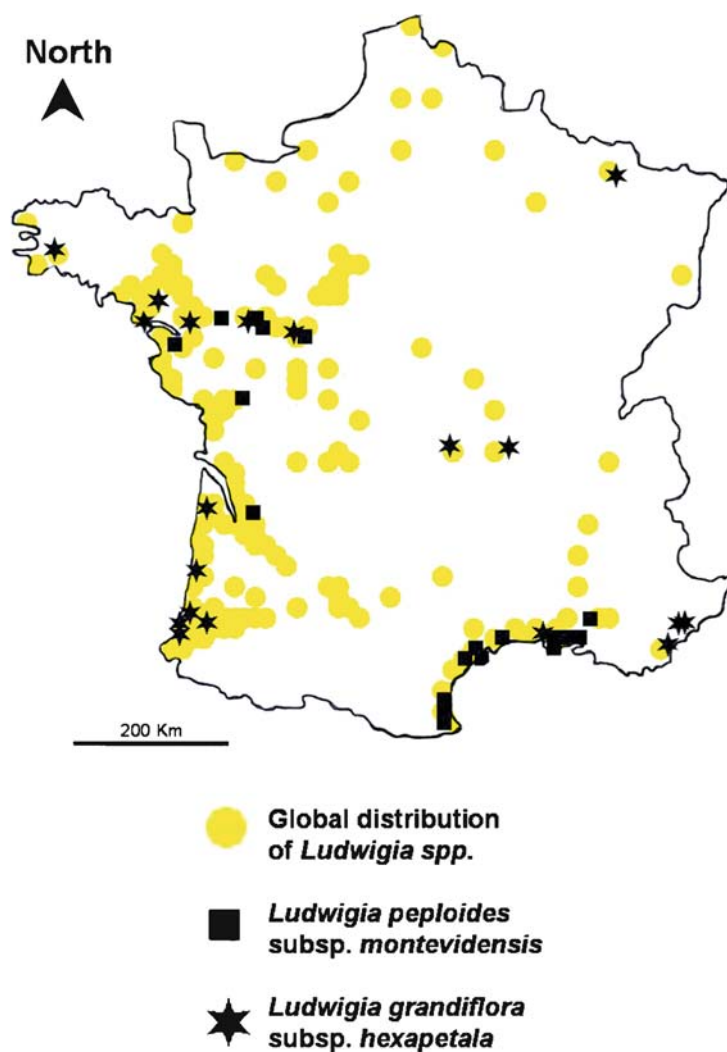


Figure 1. General distribution map of *Ludwigia* in France (adapted to Ancrenaz & Dutartre, 2002) and studied stations (squares and stars).

have been done *ex situ*. After maturation, fruits have been harvested, measured and stocked for future germination tests.

Results

Determination and distribution of alien Ludwigia in France

Our cytogenetic and biosystematic study shows the presence, in France, of two distinct cytotypes ($2n = 16$ and $2n = 80$), and the absence of hybrids in the zones where both occur. The chromosomal stability of the species facilitated our verifications, as the section *Oligospermum* includes only one decaploid and two diploids (one with yellow flowers and the other one with white flowers). The yellow flower diploid corresponds to *L. peploides* (Kunth) Raven subsp. *montevidensis* (Spreng.) Raven (1963) which is widespread in the world [South America (Chile, Uruguay, Argentina, Brazil), United States (California), East Australia and New Zealand]. The decaploid belongs to *L. grandiflora* (Michx.) Greuter & Burdet (1987) subsp. *hexapetala* (Hook. & Arn.) Nesom & Kartesz (2000) originated in America (South-east of the United States, Cuba, Paraguay, Uruguay, Argentina). In France, the diploid taxon seems to colonize especially the Mediterranean (Fig. 1), except the South-eastern part, and several sites from Gironde to Loire. On the contrary, the polyploid dominates throughout the country in the Atlantic area, Massif Central, North and East (also found in Spain and in Switzerland). However, the study of Herbaria exsiccata of Marseille revealed a different distribution in the past.

These two taxa are very similar in their vegetative state; when flowering they develop an astonishing polymorphism. Thus, on a same plant, erect or decumbent flowering stems differ, but especially the axes on the river banks or in water. These later plants are thrice as big as the first (i.e. *L. Peploides* from the Durance river: Dandelot et al., in press). There are also some differences between populations of each taxon. Our critical analysis shows the unreliability of several standard descriptive characters that are frequently used, namely the pilosity and organ dimensions. For example, *L. hexapetala*, isolated in 1991 as

glabrous species, was correctly redescribed in 2000, with a subspecies status 'more or less villous'. In summary, the steadiest simple criteria are the leaf shapes on the floral axis and the sepal length (often petal lengths).

Breeding systems

In the Provence, the two species bloomed from mid-June to the end of October, in 2002, and from the beginning of June to the end of September, in 2003 (a year with a very hot summer). Every stem produces one flower (rarely two) per day that opens at about 8 h in the morning and fades towards 17 h, the same day. These herkogamous flowers have their stigma distinctly located above the stamens, and they are actively pollinated, from early morning, by many insects (bees, beetles ...). If flowering seems identical for the two species, their fructification differs. In Provence, *L. peploides* is always very fructiferous (10–12 fruits/axis, on Durance river), whereas *L. grandiflora* seems little fertile (some fruits more or less aborted, at the end of summer, in Alpes-Maritimes). On the other hand, in the Landes, this last taxon had a variable fructification, depending on the zones: none to abundant (with more than 10 fruits/axis). On the old herbaria exsiccata, we could confirm these observations. From our cultivated plants harvested *in situ*, we always noted the easier cutting of the polyploids in relation to the diploids.

Observations *ex situ* show that, without pollinator agent, none of the two species fructifies. Inbreeding and outcrossing tests realized on *L. peploides*, *ex situ* and *in situ*, have all succeeded in producing fruits with normal sizes. On the contrary, *L. grandiflora* never fructified after inbreeding, or even after outcrossing between different populations of Provence (*ex situ*: Siagne × Frayere). On the contrary, outcrossings between Alpes-Maritimes and Landes populations (Siagne × Léon or Biscarosse; Frayere × Biscarosse) have been quite successful; we have obtained sometimes fruits bigger than the normal 2.5 cm.

Discussion

This study showed that many french aquatic ecosystems have been invaded by (at least) two

very close taxa of *Ludwigia*. Although incomplete cartography already shows a preferential distribution: *L. peploides* subsp. *montevidensis*, diploid, colonizes especially the Mediterranean area, whereas *L. grandiflora* subsp. *hexapetala*, polyploid, predominates elsewhere. More plant samples from many other sites should be necessary to complete their distribution. Both these two species are characterized by an intense vegetative growth, strict entomogamy and a total lack of agamospermy. The diploid is self-compatible (facultative inbreeding or outcrossing), whereas the polyploid is strictly outcrossing, with probably a genetic self-incompatibility. Thus, inter-population crossings, fruitful (Landes $\times$ Alpes-Maritimes) or fruitless (Alpes-Maritimes), could be explained by a monoclonal invasion in the South-east of France, and the existence of populations genetically different in the South-west.

In the context of invasions, breeding plasticity of *L. peploides* (fructification in all circumstances) gives it a clear dynamic advantage compared with its direct competitor *L. grandiflora*. However, outcrossing constitutes an evolutionary and genetic asset, as well as polyploidy (Soltis & Soltis, 2000); besides, one counts 77% of polyploid taxa among the invasive species of France (against 50.7% in the indigenous flora). Polyploids are, in general, very competitive, plastic and 'opportunistic' taxa (ecology, climate, reproduction ...), able of fast expansion in various and fluctuating ecosystems. On the other hand, diploids are rather 'stress tolerant' taxa often living in very specialized habitats. In France, their successful introduction is mainly observed in the Mediterranean area, from taxa originating from South Africa and America (Verlaque et al., 2002). Knowing that a fertile population produces more than 10,000 seeds m^{-2} (Saint-Macary, 1998), even with very weak rates of germination and survival of plantlets, the risk of colonization or recolonization after rooting out, by seeds, is high.

These observations could explain the likely substitution, in the Languedoc and Provence, of the polyploids (first wave of invasion in the 19th century) by the diploids in the 20th century. Indeed, from its introduction around 1830, only *L. grandiflora* seems to have invaded this region. Around 1900, in some sites, *L. peploides* appears progressively and now dominates. With time, 'sterile' populations decline, and only residual

spots persist. Other monoclonal populations could disappear somewhere else in France; but presumably not in the Landes where the polyploid is very vigorous, locally fertile and probably with various origins (genetical studies in progress).

Conclusion

Direct human pressures and expansion of alien species currently threaten plant biodiversity. Notably since 30 years, these two phenomena are linked, because the most disturbed biotopes, by man actions, undergo the most serious invasions. Consequences vary depending on zones and ecosystems; thus, among invasives species present in France, 68% are located in Mediterranean region and 62% in wetlands (Verlaque et al., 2002). In aquatic flora, everywhere in strong decline, only alien species make themselves a real competition. The case of *Ludwigia* illustrates perfectly these phenomena and shows the dynamics of these species through almost two centuries of colonization, owing to the complementarity of various research. On the other hand, this example prove the very aleatory aspect of invasions, bound to the importance of human action. In the case of old occasional introductions, probably originated in the same population (*L. grandiflora* in Languedoc), self-compatibility was a major asset (*L. peploides*). On the contrary, recent introductions (since 1960), multiple and deliberate, of plants from various origins, advantaged allogamous taxa (as probably the South-west invasion of the Landes). It will probably be easier to manage the expansion of 'sterile' monoclonal populations in relation to fertile populations whose sediment will keep, for a long time, numerous seeds. Future researchs (in progress), will permit to clarify some problems in order to improve the management of these species: notably distribution area, genetic diversity, complementary breeding tests, seeds viability, invasion history, phytochemistry and allelopathy.

References

- Aboucaya, A., 1999. Premier bilan d'une enquête nationale destinée à identifier les xénophytes invasifs sur le territoire

- métropolitain français (Corse comprise). Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest 19: 463–482.
- Ancrenaz, K. & A. Dutartre, 2002. Cartographie des Jussies (*Ludwigia* spp.) en France métropolitaine. Unité de Recherche Qualité des Eaux 73, Cemagref 18.
- Averett, J. E., E. M. Zardini & P. C. Hoch, 1990. Flavonoid systematics of ten sections of *Ludwigia* (Onagraceae). Biochemical Systematics and Ecology 18: 529–532.
- Ballais, C., 1969. Plantes adventives de la Gironde. Le monde des plantes 365: 5–9.
- Berner, L., 1971. Note sur *Jussieua* en France. Bulletin du Centre d'Etude et de Recherche Scientifique de Biarritz 8: 675–692.
- Burke, M. J. W. & J. P. Grime, 1996. An experimental study of plant community invasibility. Ecology 77: 776–790.
- Cronk Q. C. B., & J. L. Fuller, 1995. Plant Invaders : The Threat to Natural Ecosystems. Chapman and Hall, London.
- Dandelot S., C. Bertrand, S. Fayolle, & A. Cazaubon, Ecological study on *Ludwigia*, invasive plant, on aquatic mediterranean ecosystems (artificial and natural areas) of south-eastern France. Hydrobiologia. In press.
- Das, B., S. C. Bachar & J. K. Kundu, 2002. Evaluation of antitumor and antibacterial activity of *Ludwigia hyssopifolia* Linn. Bangladesh Journal of Botany 31: 15–18.
- Dutartre A., 1988. Nuisances occasionnées par les plantes aquatiques imputables aux végétaux. Analyses de cas. In Ann. ANPP, 15ème Conférences du COLUMA, Versailles, ANPP (eds), Paris, 1075–1082.
- Dutartre, A., J. Haury & A. M. Planty-Tabacchi, 1997. Introduction des macrophytes aquatiques et riverains dans les hydrosystèmes français métropolitains: essai de bilan. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 344–345, 407–420.
- GIS Macrophytes, 1997. Biologie et écologie des espèces végétales aquatiques proliférant en France. Synthèse biblio. Rapport réalisé à la demande de l'Inter-Agence de l'eau 68, 199 pp.
- Greuter W., & H. M. Burdet, 1987. In Greuter W., & T. Raus (eds), Med-Check Notulae, 14. Willdenowia 16 : 439–452.
- Grillas P., L. Tan Ham, A. Dutartre, & F. Mesleard, 1992. Distribution de *Ludwigia* en France, Etudes des causes de l'expansion récente en Camargue. XVe Conférence de Columa, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes. Association nationale pour la protection des plantes, 1083–1090.
- Guillaud J. A., 1883. Flore de Bordeaux et du Sud Ouest. 1er volume: Phanérogames. G. Masson (eds), 217 pp .
- Guinochet M. & R. de Vilmorin, 1984. Flore de France, Tome 5, CNRS (eds), Paris.
- Martins C., 1866. Sur les racines aérifères ou vessies natatoires des espèces aquatiques de genre *Jussieae* L. Memoires de l'Académie des Sciences de Montpellier, 353–370.
- Médail, F. & P. Quézel, 1997. Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean basin. Annals of the Missouri Botanical Garden 84: 112–127.
- Muller, S., 2000. Les espèces végétales invasives en France : Bilan des connaissances et propositions d'actions. Revue d'Ecologie-Terre Vie 7: 53–69.
- Munz, P.A., 1942. Studies in Onagraceae XII. A revision of the new world species of *Jussiaea*. Darwiniana 4: 179–284.
- Murugesan, T., L. Ghosh, K. Mukherjee, J. Das, M. Pal & B. P. Saha, 2000. Evaluation of antidiarrhoeal profile of *Jussiaea suffruticosa*. Linn extract in rats. Phytothérapie Research 14: 381–383.
- Planty-Tabacchi A. M., 1993. Invasions des corridors riverains fluviaux par des espèces végétales d'origine étrangère. Mémoire de Thèse, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 177 pp.
- Pysek, P., K. Prach & P. Smilauer, 1995. Relating invasion success to plant traits: an analyse of the Czech alien flora. In Pysek, P. K. Prach, M. Rejmanek, & M. Wade (eds), Plant Invasions. SPB Academic, Amsterdam, 39–60.
- Raven, P. M., 1963. The old world species of *Ludwigia* (including *Jussiaea*) with the synopsis of the genus (Onagraceae). Reinwardtia 6: 327–427.
- Raven, P. M. & W. Tai, 1979. Observation chromosomes in *Ludwigia* (Onagraceae). Annals of the Missouri Botanical Garden 66: 862–879.
- Richardson, D. M., P. Pysek, M. Rejmanek, M. G. Barbour F. D. Panetta & C. J. West, 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. Diversity and Distributions 6: 93–107.
- Saint-Macary I., 1998. Dynamique de *Ludwigia peploides* au Marais d'Orx. Mémoire de DESS. Dynamique des écosystèmes aquatiques, Université des Pau et des Pays de l'Adour. Syndicat mixte pour la gestion et l'aménagement du Marais d'Orx, 23 pp.
- Salanon, R., 2000. Trois xénophytes envahissantes des cours d'eau, récemment observées dans les Alpes-Maritimes (France): *Myriophyllum aquaticum* (Velloso) Verdcourt, *Ludwigia grandiflora* (Michaux) Geuter & Burdet et *Sagittaria latifolia* Willd. Biocosme Mésogéen 16: 125–145.
- Soltis, S. & E. Soltis, 2000. The role of genetic and genomic attributes in the success of polyploids. Proceedings of the National Academy of Sciences 97: 7051–7057.
- Touzot O., & A. Dutartre, 2001. Expérimentation de germination de graines et de développement de plantules de Jussies en conditions de laboratoire. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux.
- Tutin, T. G., V. H. Heywood, N. A. Burges, D. M. Moore D. H. Valentine, S. M. Walters & D. A. Webb, 1968. Flora Europa. Vol. 2. Cambridge University Press, Cambridge.
- Verlaque, R., F. Médail & A. Aboucaya, 2001. Valeur prédictive des types biologiques pour la conservation de la flore méditerranéenne. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences – Sciences de la Vie 324: 1157–1165.
- Verlaque, R., A. Aboucaya & A. Fridlender, 2002. Les xénophytes envahissants en France : Ecologie, types biologiques et polyploïdie. Botanica Helvetica 112: 121–136.
- Zardini, E. M., H. Gu & P. H. Raven, 1991a. On the separation of 2 species within the *Ludwigia uruguayensis* Complex (Onagraceae). Systematic Botany 16: 242–244.
- Zardini, E., C.-I. Peng & P. Hoch, 1991b. Chromosome numbers in *Ludwigia* sect. *Oligospermum* and sect. *Oocarpon* (Onagraceae). Taxon 40: 221–230.
- Zygadlo, J. A., R. E. Morero, R. E. Abburra & C. A. Guzman, 1994. Fatty acid composition in seed oils of some Onagraceae. Journal of the American Oil Chemists Society 71: 915–916.

WHAT DO WE WAIT FROM SCIENCE?

The case of the management of *Ludwigia* sp.¹

Communication au colloque « environment, knowledge and democracy », Marseille, 6-7 juillet 2005

Marie-Jo Menozzi

Doctor in anthropology

Consultant

12 rue Jules Soufflet

35 310 Cintré

marie-jo.menozzi@wanadoo.fr

Introduction

Ludwigia sp., (Onagraceae) spreads through rivers, ponds, and swamps. It moves from public to private space, from a department to another. Being very prolific, it can take all the space in a pond or in a swamp. It has an impact on territories, causing nuisances toward biodiversity and towards the use of the space. Elected people are questioned about that phenomenon, and land managers want to solve this problem. This implies that all social actors concerned by the development of *Ludwigia* work together: territory users, political actors, Scientists. They must altogether set up actions against *Ludwigia*, that is to say getting the territories rid of this plant.

Each kind of people has its own representation and knowledge of *Ludwigia* and of the natural lands where it develops. Communications between actors is not always easy. As a result it's not always easy to understand each other and to make everyone satisfied with a solution. It is difficult to the actors to find a common frame to work together. We'll show that scientists have to manage with a paradox: people need their help, but when they propose solutions that do not correspond to the representations of science and technology shared by the actors, they are calling into question.

We'll ask ourselves about the distribution of knowledge among scientists and other people. Do the scientists only possess a legitimate knowledge? What status for the popular knowledge? Can we assert that most of the popular knowledge has disappeared? We will ask ourselves about the elaboration of a new knowledge among territory users, from the communication of scientific information given by scientists, a knowledge that is necessary to an efficient management of the *Ludwigia* by all the actors concerned.

To finish, this example bring us to ask about what is a technical innovation, for the different actors, not a big machine nor a perfected product, but as social as technical improvement to compose with a problem. In this case, the solution will not come with elaborated techniques,

¹ The facts here exposed result from a study effectuated in the frame of Invabio program, operated by the MEDD, in the interdisciplinary equip chosen for work on the *Ludwigia*. Investigations have been realised in different sites along the Atlantic coast, during 2003 and 2004.

as expected by actors, but with social and cultural innovation, as diffusion of knowledge, organisation of the social actors so that their actions become more efficient.

Which kind of plant is the Ludwigia ?

Ludwigia is a plant native to South America. Two species are present in France (Dandelot, 2004). Those plants have been introduced in France probably during the first part of the nineteenth-century. It has been first seen in the town of Montpellier (Dutartre, 1997). Then, for nearly forty years, it has been progressing along the Atlantic coast to Brittany. This spectacular spread can be explained by biological and sociological factors mainly.

Ludwigia is an amphibious plant, constituted by a web of long immersed and emerged stems (Agence de l'Eau, 1997). It has great capacity of colonization, notably by great faculty of adaptation to different kind of biotopes (Dutartre, 2002). It is actually seen as the most problematic plant as for the management of wetlands (Dutartre, 2004). It appreciates biotopes like lakes, streams with low flows in summer, networks of ditches... when *Ludwigia* grows, it can proliferate on most of the area. In extreme case, the water of the river is no longer seen. This ease the plant has in spreading is due to its strong capacity to reproduce by cuttings. A very small piece of *Ludwigia* can cause a re-colonisation of all a lake or a pond that has just got rid of the plant. Sunny places, low stream, just a little water, heat, that's what *Ludwigia* loves.

Sociological factors are of different kinds: the attraction of the plant, human actions that favours its proliferation, means of land management, action to remove *Ludwigia*....

Ludwigia is also composed of big beautiful yellow flowers, intended for aquariums decoration, ornamental lakes, and ponds. Its aesthetic quality probably explains this introduction of *Ludwigia* for its ornamental characteristics. It also probably explains the dissemination of the plant among the French territory (Dutartre, 1997). It likes developing in spaces that have been transformed by human, and some actions favour its development.

The proliferation of *Ludwigia* is perceived as a problem for different reasons. It causes environmental damages to the biodiversity, to the water circulation. Indigenous plants are in competition with *Ludwigia* and can be threatened by the proliferation of it. It also causes damages to some human activities, as fishing, hunting, canoeing... Fishers, hunters, and watermen can't no longer practice their activity, inhabitants don't recognize anymore their known landscapes, and hydraulic circulation is perturbed.

For all those reasons, it appears essential to find a way of resolving the problems caused by *Ludwigia*. The plant is composed of a set of characteristics: biological, ecological, sociological, cultural ones so that the issue must be faced at the intersection of those different approaches.

1.1. The human actors

Not all people seem concerned by the proliferation of *Ludwigia*. Land users which sites are colonized by *Ludwigia* constitute the most concerned "public" for this plant. Often they are among the first to react to the proliferation of *Ludwigia*, when it becomes hard for them to continue their activities because of *Ludwigia*: when the fisher can't go angling anymore, when boats can't go across a grassy sea bed of *Ludwigia*. *Ludwigia* also concerns political actors; their citizens question them about the way of solving the problem. Usually the process is similar. At the beginning, nobody sees *Ludwigia* while it begins to develop. Nobody sees what's happening, but one day, people realise that the lake or the river is overgrown with a

beautiful but very profuse plant. As regards invasive species, the process is often similar. When it would be efficient to undertake an action against the species, nobody worries about its presence, people only begin to react when their activities are threatened, and when it becomes very difficult to eliminate it.

Reactions depend partly on concerned people. One answer consists in using solutions on hand, like pesticides, clearing machines to get the territories rid of *Ludwigia*. Another solution consists in calling out scientists to give a hand to resolve the problem. But when the first solution is chosen, and while employed methods fail to resolve the problem, people also wait for help from scientists.

The relations between those different categories of actors are mediated by different kinds of knowledge, different representations of the risks, different representations of the used techniques, different representations of the nature and by the relations' human beings maintain with it.

We will observe the difficulty to find a common framework between scientists and other categories of actors, how factors as social representation have an influence on debate about the choice of techniques, how knowledge is spread among different categories of people. Does *Ludwigia* participate to the constitution of new categories of knowledge about environment and plants?

1.2. Different framework to grasp the situation

Scientifics are often called out when local actors have to deal with an unknown and strange problem, a plant in this case. The scientists can give a name and give some explanations about the phenomenon. People often wait a lot from scientists.

The first difficulty consists in defining a common framework in order that people can understand each other. But different factors can sometimes lead to a difficult communication between people: the targets are not similar, the perception of a framework of space and time differ as the perception of the risks, and people don't use the same vocabulary. One of the first roles the scientists must have is not an ecological or a specifically scientific one, but it is to help people to change their own perceptions.

Different purposes

Land users and land owners, political actors express anxious requests to scientists to "eradicate" *Ludwigia*. But scientists can't answer to such a request, because it is impossible to eradicate *Ludwigia* now that it is present. According to them, it is just possible to bring it under control. So scientists must convince people that they must learn to live with it. Those different perceptions of the problem express in the vocabulary used. When local users speak of eradication or "war" against *Ludwigia*, scientists speak of adjustment.

Different orders of perception

Scientists and local people don't use the same order of perception. For users, political actors, it is often urgent to get the territories rid of *Ludwigia*. And if work can be made today, it is better... Scientifics are going to relativize the problem. *Ludwigia* is actually problematic because of its impact on the human activities. Perhaps that in half a century *Ludwigia* will be integrated in the ecosystem and in the territories, and that it will cause no problem anymore, as we can see it with *Elodea Canadensis* (Dutratre, 1997). If this plant has caused problem at the beginning of the twentieth century, it is now integrated in the local fauna and flora.

Users, political actors and scientists and owners don't share the same perception of space. The users or political actors often have a global perception of the problem. The demand is oriented toward the eradication of the plant in the territories used by those people who don't always have an idea of the interdependence of the different spots of *Ludwigia* among the river. So that if some scientists or owners recommend to adjust one site in order that it can be a reservoir of *Ludwigia* cuttings, local actors are not always agree with this kind of solution. The technical solutions are not all accepted by the actors dealing with *Ludwigia*.

Not the same method

Another point of differences between local actors and scientists is the planning of work. When scientists or managers recommend the elaboration of maps of the colonization in order to identify the problem, local actors want to act. Sometimes, local actors ask them why those precautions are taken, because they only want that territories can get rid of *Ludwigia* right now. *Ludwigia* has proliferated everywhere in the concerned ponds and rivers, we know where it is, say people, so why trying to elaborate a map. It's better to give time and money to uproot *Ludwigia*. Different conceptions oppose each other. We can distinguish the theoretical knowledge scientists possess, that is to say a specific methodology to know the reality, from a pragmatic knowledge, which is often the fact of local actors. The specificity of the scientific approach is confronted to the local practices, where interventions are organized when there is a problem (Van Tilbeurgh, 1994).

1.3. What kinds of solutions are expected?

A part of the discussions between the scientists and the local actors focus on the kind of techniques that can be employed to resolve the problem. Discussions about the techniques illustrate the great expectations people have about sciences... But when scientists propose solutions that go against representations and expectations of local actors, their credibility and legitimacy are calling into question.

We will present the main techniques used to uproot *Ludwigia*. If those techniques can be characterised by their technical specificity, their efficiency towards the elements, we can notice that the discourses elaborated about the techniques are as social and cultural as technical. As says G Busino (1998), choice is not contained in the potential of the techniques but essentially in sociological, economical and political factors.

Local actors receive scientific information with their own representations of the world, and their beliefs. They are agreeing with scientists when they recommend actions that they originally find efficient. But if the information given by scientists is not consistent with their initial beliefs, it's difficult for them that it appears reliable. This type of phenomenon has been observed during researches about risks. Those researches tend to show that if new evidence is consistent with initial beliefs, it appears reliable and informative, but contrary information tends to be dismissed as unreliable, erroneous or unrepresentative (Slovic, 1987).

Different criteria are used to choose the techniques: knowledge possessed of the plant, ecological approach or not, kind of use of the land, cost, dryness, time required, but also, representations and beliefs in techniques and sciences, values that they share and "impression of doing something against the plant".

Different techniques are available to uproot *Ludwigia*: trees plantations along the river to make shadow which is not appreciated by *Ludwigia*, adjustment of water levels so that there is too much water in order that the plant could stay. Those techniques, who act on the lands, are not the most often employed. Usually, techniques consist in uprooting the plant of the

colonized lands. For this, three main techniques can be used: mechanical uprooting, manual weeding, or chemical treatment. Discussions about techniques are relative to those techniques.

Mechanical weeding is fast; it allows treating quickly big invaded surfaces. But it can be aggressive against fishes, spawning beds, and against other plants that *Ludwigia*. Some of them are protected. This technique is sometimes inappropriate to the site, for example it can be difficult for a big machine to go on narrow dykes or bridges.

Manuel weeding consists in uprooting *Ludwigia*, piece by piece. It can be a hard work that requires time. With this method, it's more easy to ensure that no piece of *Ludwigia* goes away, and that just *Ludwigia* is being uprooted and not the protected plants. But one strong disadvantage is that it is a hard work to remove *Ludwigia* with hands. This technique is also considered as onerous, because of the long time taken by human. For that reason, this technique is often used as a complement of mechanical or chemical weeding, or to maintain the environment, during regular operations of uprooting.

The third most frequent technique used is the chemical treatment. This technique is often presented as the most efficient one by local actors. It's rapidly and easily done, it's not tiring, and it seems that it is less expansive than other techniques.

Discussions about the techniques express what most of people wait from science, and how they represent it. Most of the people have a good opinion of scientists, and their expectations are high. According to a Sofres survey (2001), science constitutes a positive value for opinion, and 88% of people trust this institution. Local actors have specific representations of science and of scientists. For them, science is efficient enough to solve problems caused by *Ludwigia* and necessary posses the solution. It will be able to find out something. What does it mean for people? Has science got an answer to the problem, and does the answer consist in an efficient machine or chemical product? Demands of the people can be resumed like this: "I've got a problem in my ponds regarding an unknown plant. Please, can you indicate me the most efficient herbicide"? (Dutartre, 2005). But scientists are not able to answer to such a demand. When they can't answer with the confidence people are waiting from them, and that they can't no longer answer, their legitimacy is questioned. Regarding this, the choice of manual weeding is not evident for those people, because it contradicts initial beliefs.

Big machines, chemical products are considered as elaborated techniques, as regards the effect of the progress and the sense of its evolution. For a part of actors, only elaborated products, technological ones at the top of the progress can act efficiently against *Ludwigia*. Those techniques benefit of positive attention. And people believe that the scientists have an efficient machine or a chemical product elaborated by technological innovation that can be used to regularize the problem. Regards to this, choices proposed by scientists seem very unrealistic and totally different of what was expected.

Manuel weeding can be recommended by scientists because of its different advantages: it is less aggressive toward the environment; it allows removing *Ludwigia* with precision, only *Ludwigia* is removed. The inconveniences are that it is a long human work which takes time and that induces physical dryness and high economical costs. For that, this technique suffers of a bad representation among a lot of people. It's perceived as an archaic technique, in contradiction with the idea people have of an efficient technique and of its evolution to more innovation. Manuel weeding doesn't correspond with what it is generally defined as a technological innovation. For people, it means a regression to use such a technique; it means coming back to hard labour, slavery. This technique, perceived as physically hard, is calling into question what progress has been brought to humanity: a diminution of the physical hardness of the work, a bigger control of the environment, a liberation of the constraints

imposed by the physical, chemical and biological environmental forces (Cresswell, 1996). Especially labourers share this kind of representation of the techniques.

For a lot of people, not using chemical products is perceived as a regression on the scale of the progress, but is the use of those products as rational as said? If chemical products are perceived as the top of the progress, the explanation why they are used don't seem so rational...indeed, can't we observe as a "magical" use of those products from the scientific research? Some people express their demand that science find a miracle product to remove *Ludwigia*. As noticed S Lelièvre-Bottom (1997), the diffusion of the technological assets has generated something like a generalized naivety regards the technological possibilities, so as to produce a magical investment of those techniques. Discourses about *Ludwigia* and the techniques used illustrate this. As said a political actor: "regarding the eradication products, it would have simplified life; we just would have to vaporised, and the problem would have been resolved". As this actor seems to believe, a simple vaporization of chemical potion then *Ludwigia* vanishes. For those people, it is often hard to understand the recommendations of scientists, who insist on the fact that chemical products are not necessary the more efficient. We can give another explanation regarding the attractive aspect of the chemical products. As for scientists those products are not harmless and should be manipulated only by specialists, for a part of actors, those elements are easy to get. Furthermore, it's easy to use (regardless of the consequences on environment). As herbicide is vaporised on a land, people have got the impression that they do something against the threatening plant.

Ecological engineering, as a scientific field, don't correspond to the image people have of science. The recognised solutions are often at the opposite of the beliefs about science. At the opposite of the other local actors, in this perspective, manual weeding is seen as the most achieved technique to remove *Ludwigia*: "the best of the best" to manage *Ludwigia*: efficient, harmfulness toward environment, selective techniques. In the perspective of the ecological engineering, the protection of the environment is one important point, as it is not the case for people who want to find miracle solution and resolve the problem quickly. But as noticed a scientist who work on *Ludwigia*, consideration for the protection of the environment has risen in the latter years. It fits in what C.Mougenot call "the ecologization" of the society (2002), (that is to say), a growing consideration regarding the ecological question, as process of which society takes in consideration the environment in its dynamic of development.

1.4. The social demand

As noted J Theys and B.Kalaora, we now wait almost everything from science: that science elaborates diagnostics and previsions, that science permits to define norms, to find technical solutions, to appease or canalise fears. It's not easy for the scientists to answer the demands of people, because those demands are multiple: technical, about knowledge, but also social or cultural ones.

When it's hard for scientists to answer people's demands, their legitimacy is calling into question. For example, when they recommend not using chemical products, they are suspected of having a partial approach of the issue and of not being objective. Recommending to not making use of chemical products is as taking one risk: to be categorised as an "ecologist". In this case, scientists are not criticized because of the risks they provoke (Callon, 2001), but because they are too careful toward the preservation of the environment.

But even scientist's recommendations can be criticized; it's difficult to act without them. For the management of organisms, it is difficult to operate without a scientific approval. For most

of local actors, their knowledge about this new plant is poor, so they need scientists to explain some aspects of the plant. People are waiting information, new knowledge from scientists.

Scientists are requested to explain what the plant is and what its “rationality” is, and how to proceed to remove it. They are all the more necessary that local actors don’t possess knowledge about this exotic plant. In this case, the legitimate knowledge is the one produced by scientists. The problem is that, if they communicate information, some people still use wrong practices to “eradicate” the plant because of their lack of knowledge. Scientists perceive local actors without knowledge about the functioning of ecosystems. So the problem of the scientists is to inform about the plant and its environment. Most of the local actors recognize that they don’t possess great knowledge about the water lands, that they don’t possess scientific knowledge that they don’t know the name of the plants that grow in water and along the riversides...

Many questions emerge considering the place of scientific knowledge and the existence of “traditional”, popular knowledge. In French regions, does that knowledge only exist in museum? According to the interviews we conducted, a lot of actors said they knew few things about the wet lands. We can partly explain this by the fact that people said that they did not know a lot about the wet lands, in reference to the scientific knowledge, which is the legitimate one. “I don’t know the plants, said a fisherman, I didn’t learn the Latin language”. But also, actual uses of the water lands don’t necessarily imply for most of the users that they possess ecological or naturalistic knowledge, as the capacity of recognize plants or to know their name. We can also hypothesis that the investigations done on popular knowledge must be completed by others.

In the department of the Landes, information days have been organised for local actors. The effect of those actions is interesting: some fishers recognized that they had no knowledge of the lake where they practise their activities (“I thought there were only three plants in the lake”, said a fisherman), and have learned things about the plants. Some of them have become fond of botanic, and now try to diffuse this botanical knowledge to the others users of the lake. One of the targets set by scientists is to bring knowledge to local actors so that they can prevent the proliferation of the land by using the good techniques and by being precautions when plant is removed and stocked in an area. Indeed, for the scientists, a part of the proliferation of *Ludwigia* is due to inadequate actions toward the environment or the plant, and to a lack of knowledge about the ecological dynamics.

1.5. In conclusion, does innovation is what we think?

We saw that beliefs about the techniques do not always square with what happened in the reality. If people wait for technological innovations to struggle against *Ludwigia* such as sophisticated machine or efficient herbicide, the answer takes another way. In the case of *Ludwigia* (and perhaps of others invasive species), technological innovation is made of social organisation (and distribution of required skills), knowledge, and specific way in the gesture of removing the plant... nothing spectacular, as could be science... What said an actor interviewed about the *Ludwigia* is a good resume of all that. As we asked him about what technique is efficient against the *Ludwigia*, nothing of them, did he answered, as the only efficiency possible is only the collective one, to mobilise everybody along the wet lands to remove rationally the *Ludwigia*. And, as say B Latour (1994), to construct this collectif, actors use science, and the knowledge it product.

- Busino Giovanni, 1998, *Sociologie des sciences et des techniques*, ed Que sais-je, 127p.
- Callon Michel, 2001, *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, ed du Seuil, la Couleur des idées, 357 p.
- Creswell Robert, 1996, *Prométhée ou Pandore. Propos de technologie culturelle* », ed Kimé, Paris, 393.
- Dandelot S. 2004. *Les Ludwigia spp invasives du sud de la France : historique, biosystématique, biologie et écologie*. Université Paul Cézanne Aix Marseille, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme. Thèse de doctorat, 213 p.
- Dutartre Alain, Haury Jacques, Planty-Tabacchi A.M, 1997, « Introductions de macrophytes aquatiques et riverains dans les hydrosystèmes français métropolitains : essai de bilan », *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 344/345, 407-426.
- Dutartre Alain, 2002, « La gestion des *Ludwigias* en France : état des lieux et perspectives », Actes des journées techniques nationales « Renouées », Besançon, édition Association Echel. 82p.
- Dutartre Alain, 2004, “De la régulation des plantes aquatiques envahissantes à la gestion des hydrosystèmes”, *Ingénieries*, 87-100.
- Latour Bruno, 1994, *Nous n’avons jamais été modernes. Essai d’anthropologie symétrique* », ed la Découverte, Paris, 211p.
- Lelièvre-Botton Sylvie, 1997, *L’essor technologique et l’idée du progrès*, ed Ellipses, Paris, 126p.
- Les études de l’Agence de l’Eau, 1997, « Biologie et écologie des espèces végétales proliférant en France ». Synthèse bibliographique », Agence de l’Eau.
- Mougenot Catherine, 2002, “Rapport d’activité 2002”, SEED, Fondation Universitaire Luxembourgeoise.
- Slovic Paul, 1987, « Perception of risk », *Science*, vol 236, 280-285.
- Sofres, 2001, « Les attitudes des français à l’égard de la science », Note de synthèse, Sofres.
- They Jacques, Kalaora Bernard, 1992, « Quand la science réinvente l’environnement », *La terre outragée. Les experts sont formels !*, ed Autrement, série Sciences en société, 15-50.
- Van Tilbeurgh Véronique, 1994, *L’huître, le biologiste et l’ostréiculteur. Lectures entrecroisées d’un milieu naturel*, ed l’Harmattan, coll Logiques Sociales, 248p.



***Ludwigia* proliferate in a lake in the Landes.**



Manual weeding to eliminate *Ludwigia*



Mechanical weeding of Ludwigia

Management strategies for an invasive species: the importance of stock externalities

Carole Ropars-Collet*, Louis-Pascal Mahé, Philippe Le Goffe, Jacques Haury, Mélody Leplat

Abstract:

The management of an invasive species presents some similarities with renewable resources. However, the objective function is the sum of two positive and often increasing components: environmental damages and management costs. The paper stresses the importance of stock externalities to ensure that a non zero stock is optimal. In a static approach, we show that when the damage function is always increasing, the absence of stock externalities leads to a solution of eradication under usual assumptions. If the damage is decreasing (and negative as sometimes assumed) it is still possible that a non zero stock to be optimal. In the presence of externalities it is more likely that an interior solution be optimal, although it needs not to be the case. If the cost externalities tend to be infinitely large for low stock levels, then eradication is ruled out. Empirical illustrations for *Ludwigia spp.* are presented.

JEL Classification: Q20, Q29.

Keywords: Invasive species, eradication, controlled invasion, resource economics, *Ludwigia spp.*

* Agrocampus Rennes, Département Economie Rurale et Gestion, 65 rue de Saint-Brieuc, CS 84215, 35042 Rennes Cedex, France

Contact : e-mail : ropars@agrocampus-rennes.fr, fax: +33 (0) 2 23 48 54 17, tel: +33 (0) 2 23 48 56 91

Management strategies for an invasive species: the importance of stock externalities

1 - Introduction

The spread of non indigenous invasive species raises important ecological and economical problems in many countries. They can be animal or plant, land or aquatic species. Biological invasions are responsible for the degradation of ecosystems and ecological services: modification of both biodiversity and habitats associated with competition among species, deterioration of water quality and changes in the flow of waters in the case of aquatic species, etc. These deteriorations of ecosystems may inflict substantial economic losses to the users of the invaded natural resources. In France, *Ludwigia spp.* is one of the most intrusive aquatic plant species, threatening the environment. World-wide, it is classified among the worst plant pests. Its dynamic power of colonization is strong in France where numerous sites exhibit conditions favourable to its growth. It holds a wide ecological magnitude and presents an important potential of geographical distribution. It prefers stagnant or weak water flow environment such as still waters and wet zones. When *Ludwigia spp.* spreads over, it is responsible for important damages on ecosystems and their functionalities. It may lower the oxygen content and alter the quality of watersheds. It also causes physical nuisances through hindrance to water flows and silting up. As a result some biotopes loose complexity and biodiversity decreases in the colonized environment. Recreational uses of natural resources such as fishing, hunting, water-based recreation, may also suffer from significant damages.

The users and managers of the affected sites are striving to develop methods to keep *Ludwigia spp.* under control. The characteristics of the species are crucial in the design of the strategy regarding management and spread risk. Some actions can have unpredicted effects on the structure of the ecosystem and its functionality. Besides, these actions tend to require costly

techniques and hence large financial means. The control may consist of heavy ground works to avoid the settlement and the development of the species. Curative approaches consist of manual, mechanical or chemical techniques.

According to the managers, it seems that the complete eradication is not feasible once the colonization has become important. Depending on the sites and the degree of colonization, the management objectives are either to keep the invasion at very low levels or simply to minimize the nuisances and the dispersion. However, the objective of controlling the invasion to a given physical target may not always be optimal from an economic point of view. The management level should be given by a trade off between costs and benefits.

The control of invasive species has features similar to the problems of pollution management. In both cases the spread entails damages to the society. However, unlike pollution, biological invasions face limiting factors to a species spread on a given site, due to ecological and biological conditions. In this respect they are similar to renewable resources such as fisheries stocks. But the main difference is that in the case of renewable resources extraction provides a valuable output, and the problem is to maximize the present value of the profit generated by catches. While in the case of invasive species the problem is to minimize the present value of the sum of the cost of control and of the current flow of damages generated by the stock. Eiswerth and Johnson (2002) stressed that very few economic studies have been conducted on the management of biological invasions. To our knowledge, Knowler and Barbier (2000), and Eiswerth and Johnson (2002) have developed a dynamic model that we can compare with those used for renewable resources.

Junqueira Lopes and al (1993), have studied a population of scrawfishes deteriorating irrigation channels. Eiswerth and Van Kooten (2002) have modelled an invasive plant which slows down the productivity of pasture. They derive solutions for stationary stocks of invasive

species and to optimal levels of control. We note that these studies are limited to theoretical modelisation and do not include fully empirical applications.

Eiswerth and Johnson (2002) developed a dynamic model of optimal control about an invasive species management. The model is close to bio-economic models applied to fisheries and is followed by a numerical illustration. They derive optimal solutions for steady state level of invasion. The comparative static shows that the impact of ecological, biological and technical factors on the optimal control is ambiguous and strongly depends on the species characteristics and on the colonized site. However, they do not examine the impact of economic parameters on the solution. The damage function they use depends on the invasion level, whereas the costs only are a function of the quantity withdrawn from the biomass.

The aim of this study is to identify and quantify optimal control strategies for various French sites invaded by *Ludwigia spp.* Unlike Eiswerth and Johnson, we allow for a stock externality to exist. Under reasonable circumstances, this assumption seems to be a necessary condition for the existence of a non zero-solution, hence different from eradication. A static approach is only used to identify and simulate management solutions. Although we have no general conditions on the technology and the biological characteristics which ensure that a non corner solution exists and is stable, we find that stock externalities appear to make these conditions easier to fulfil.

2 - A Static model of biological invasion management: the importance of stock externalities

We consider a site invaded by species such as *Ludwigia spp.* Their spread is responsible for nuisances or negative impacts on recreational and other uses. In order to cope with economic damage, the manager of such a site would like to control the species proliferation. He has to bear the management cost of the invaded site. We assume that the cost function depends not

only on the amount of biomass retrieved but also on the invasive species stock. In the static case, the sole owner is indifferent between present and future. The manager aims at finding an efficient trade off between the current costs of control and future damages generated by the stock. The optimal management of the affected site requires minimizing the sum of control costs and damages induced by the biological invasion subject to the growth function.

Let Y be the control i.e. the amount of the invasive species extracted, and S the stock of biomass. Total and marginal economic damages are assumed to be increasing with the biomass stock. They are both zero before the invasion i.e. when the stock is null. The damage function represented by $F(S)$ is assumed to be continuous and twice differentiable, increasing and strictly convex in S . Hence, except for specified cases, the following assumptions are made on the damage function (where indices denote partial derivatives):

$$F_S > 0 ; F_{SS} > 0 ; F(S) > 0 ; F(0) = F_S(0) = 0 \quad (1)$$

Managing the invaded species incurs a cost which in general will depend on both the “output” Y and of the stock biomass S . The latter assumption expresses the possibility of a stock externality. The assumptions on the control cost function are summarised in the following expressions:

$$C_Y(Y, S) > 0 ; C_{YS}(Y, S) \leq 0 \quad (2)$$

$$C_S(Y, S) \leq 0 ; C_{YS}(Y, S) \leq 0 ; C_{SS}(Y, S) \geq 0 \quad (3)$$

$$C_{YY}C_{SS} - C_{YS}^2 > 0 \quad (4)$$

When stock externalities do not exist, relations (3) are strict equalities. In the presence of externalities they are strict inequalities and we add the following realistic assumptions for extreme points:

$$C(0, S) = 0, S > 0 ; C_Y(0, S) \geq 0, S > 0 \quad (5)$$

$$C(Y, 0) = +\infty ; C_Y(Y, 0) = +\infty ; C_Y(0, 0) = +\infty ; C_S(0, 0) = -\infty ; C_{YS}(0, 0) = -\infty \quad (6)$$

Expression (2) implies that total and marginal costs of managing the invasive species are not decreasing in Y . Expressions (3) mean that the stock externality is weakly negative and decreasing in magnitude: total and marginal costs are not increasing in the stock biomass. The cost function is also assumed to be continuous and twice differentiable, strictly convex in Y , in S and jointly convex in S and Y , according to expression (4). Expressions (3) reflect the increasing difficulty to eradicate the species from its environment as the amount of biomass becomes scarce and, conversely, the relative easiness to remove a unit when the stock is large. We also assume in general that the cost is zero for a no control strategy and that marginal cost is a non negative number when the stock is strictly positive.

We assume a logistic growth function. Then, as the species is spreading, competition between species increases and pests and biological interactions appear. The biomass proliferates at a diminishing rate from some level and then stabilizes. The natural growth function of the species, represented by $G(S)$, is then assumed to be strictly concave with a maximum at S_{MSY} which is the maximum sustainable yield (MSY) of the species. It is increasing when the stock is below S_{MSY} and decreasing otherwise. K is the carrying capacity of the biomass. We make the usual and classical assumptions, of renewable resources management models such as fisheries, where a quadratic form is often assumed for G :

$$G_S(S) \geq 0, 0 \leq S \leq S_{MSY} ; G_S(S) \leq 0, S \geq S_{MSY} ; G_{SS}(S) < 0 ; G(0) = G(K) = 0 \quad (7)$$

When management is implemented, the natural growth of the stock is cut down by the biomass extracted, hence the following usual assumption for the net growth when the control is set at level Y :

$$\frac{dS}{dt} = G(S_t) - Y_t \quad (8)$$

The optimal management of the biological invasion is defined as the social planner problem. In a static approach he tends to minimize $V(S)$, the sum of damages and management costs, subject to a stationary stock biomass, i.e. to equation (8) set to zero. Then, the static optimal stock uniquely determines the amount Y to be extracted in order to maintain the stock and keep the entailing damage under control in an efficient manner.

Replacing Y by $G(S)$ in the cost function, the problem is then reduced to find an optimum without constraint excepted for the non negativity of the stock S and the condition that the stock cannot be larger than K , as

$$\underset{S}{\text{Min}} V(S) = F(S) + C(G(S), S); S \geq 0; (K - S) \geq 0 \quad (9)$$

The first order necessary condition for a solution is the following:

$$V_S = F_S + C_Y G_S + C_S \geq 0; S.V_S = 0 \quad (10)$$

$$-V_S \geq 0; (K - S).V_S = 0 \quad (11)$$

if $V_S > 0$ for all S , then the solution S^* is zero and the optimal solution is eradication,

if $V_S < 0$ for all S , then $K - S^* = 0$ and the optimal solution is *laissez-faire*,

if $V_S = 0$ for some S and $V(S)$ is strictly convex, then $0 < S^* < K$ and the optimal solution is controlled invasion.

The sufficient condition for an interior solution to be a true minimum is:

$$V_{SS} = F_{SS} + C_{YY} G_S^2 + C_{SS} + 2C_{YS} G_S + C_Y G_{SS} > 0 \quad (12)$$

Assumptions (2) to (4) do not ensure that this condition is always met. The value function $V(S)$ could be in principle increasing for the whole range of stock levels. In order to minimize the total loss, the condition (10) requires the stock to be zero if the value function $V(S)$ is strictly increasing in S . There is no interior solution. Indeed, it turns out that it is the most likely case when the damage function is strictly increasing and when the stock externality is either zero or small in comparison with the marginal damage. As a result, the planner should

either prevent the species from proliferation at the outset or completely eradicate the biomass on the site subject to invasion. The absence of an externality does not guarantee that the function $V(S)$ is strictly increasing because when $S > S_{MSY}$, the natural production function is decreasing $G_S < 0$. Nevertheless, even in that case, it turns out that a weaker condition justifies eradication under our realistic assumptions. Let's examine different cases leading to several types of control strategies.

2.1 - No stock externality

Without stock externalities, the necessary condition for a minimum is:

$$V_S = F_S + C_Y G_S \geq 0 ; S.V_S = 0 \quad (13)$$

For $S < S_{MSY}$, G_S is strictly positive and the value function is increasing. Then, an optimal solution is not possible in this interval. As $S > S_{MSY}$, V_S is likely to have a zero value. However, it is not a minimum even if we can not conclude from the simplified second order condition:

$$V_{SS} = F_{SS} + C_{YY} G_S^2 + C_Y G_{SS} > 0 \quad (14)$$

This condition is not guaranteed because in theory, the concavity of G can offset the other two positive terms and the value function $V(S)$ can either keep on increasing after a turning point or be decreasing after a maximum. This will be clearly the case if marginal damages and marginal costs are constant.

Nevertheless, we can check that, in the absence of stock externalities, the loss function V has a global minimum at a zero stock level if damage function is not decreasing as assumed:

$$V(S) = F(S) + C(G(S), S) \geq V() = F(0) + C(0,0) = 0 \quad (15)$$

Simulation has been adjusted on really data collected by managers of different French areas invaded by *Ludwigia spp.* It appears that whenever stock externalities are absent and the

damage function is not decreasing, the optimal solution is to drive the stock to zero i.e. to eradicate completely the invasive species from the environment (figure 1).

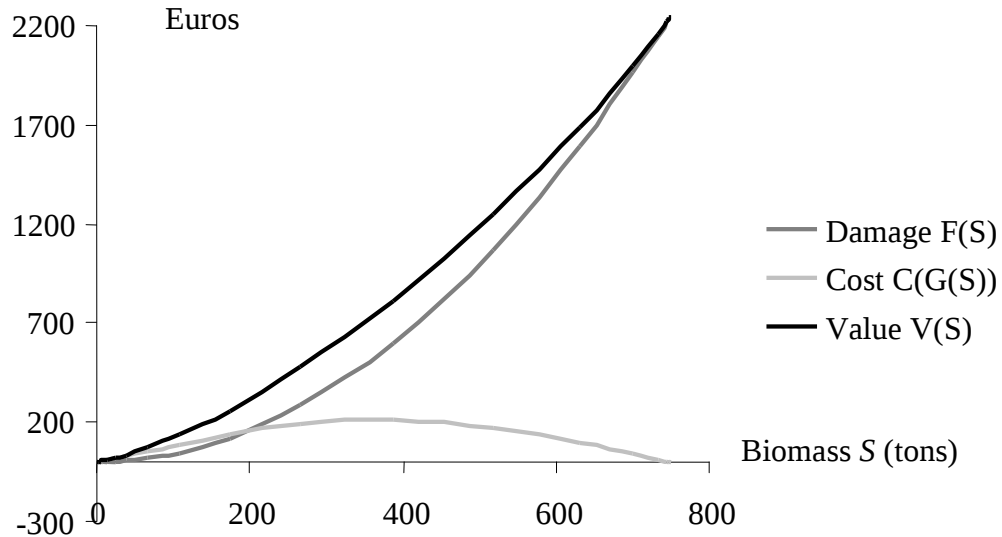


Figure 1: No stock externalities and no benefit of the invasion: eradication

If for low levels of the invasion damages are decreasing over some range and then increasing, we may still have an interior solution. This case is not unrealistic and has to be considered when species are introduced for example for ornamental purposes. It can also be the case as the weeds may provide shelter to fish for spawning. Expressions (13) can then be zero for some non zero S and be a minimum of $V(S)$ as the second order condition (14) is negative. Such a case, which violates the more relevant assumptions stated in (1), will occur for some species which first provide benefits so that damages are negative and decreasing for small values of the stock biomass, then increasing after a minimum and then positive. As a result, a stock different from zero can be optimal and the optimal policy will not be eradication.

Whenever stock externalities are absent, it is necessary for the optimal solution to occur at a (strictly) positive stock level that the damage function to be decreasing over some range, as shown in figure 2.

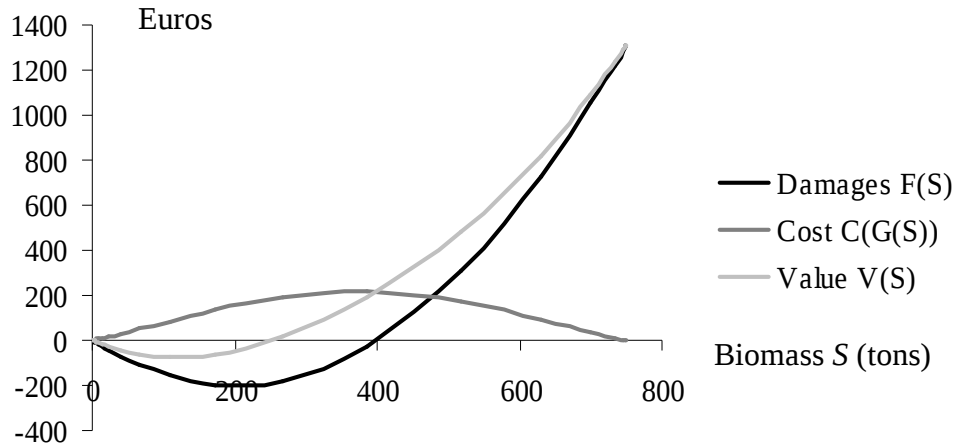


Figure 2: No stock externalities and benefit from the invasion: a case of positive solution

With no stock externalities and an increasing damage function, the first order conditions do not provide the global minimum but a maximum, or a turning point. Eiswaerth and Johnson (2002) used cost functions which are independent of the colonization size, hence they can not ensure that their solution is a true minimum even if the model is dynamic.

2.1 – Existence of stock externalities

The assumption of costs independent of the invasion size is not realistic for main cases. When it is hardly feasible or impossible to eliminate the last individuals, eradication costs become prohibitive as the stock becomes very low. The optimal management may consist of maintaining the stock at the positive level derived from expression (10), which means that the optimal stock is such that the marginal savings on costs due to an extra unit of stock should offset the corresponding increase in damage.

$$-\frac{dC}{dS} = -[C_Y G_S + C_S] = F_S \quad (16)$$

This condition can also be written as $G_S = -[F_S + C_S]/C_Y$ which requires the marginal productivity of the stock (the slope of the growth function) to be the opposite of the ratio of the marginal damage net of the stock externality to the marginal cost of extraction. Depending on the relative importance of externalities and marginal damages, the slope of the natural growth function G_S is positive or negative, hence the optimal solution S^* can then be on the left or on the right of S_{MSY} (figure 3).

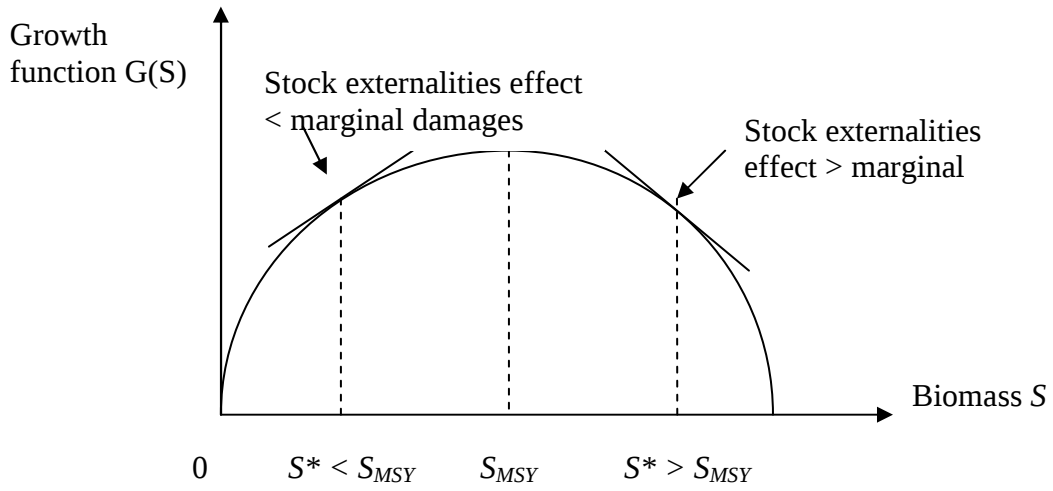


Figure 3: Condition for a minimum loss

Expression (16) is equivalent to $F_S + C_Y G_S = -C_S$. It means that the optimum requires that the marginal social cost of the invasion offsets the gain related to the stock externalities. There is no intervention when it is too costly for manager to crop, relatively to social costs (figure 4).

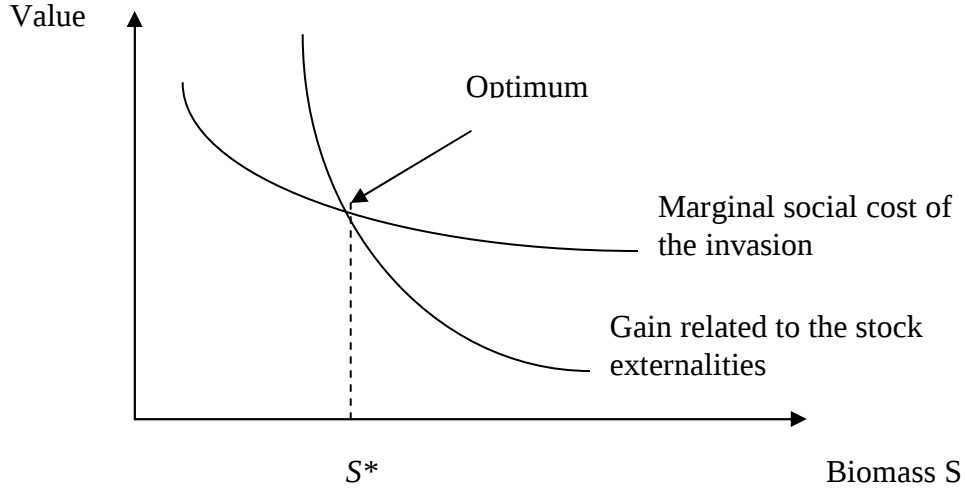


Figure 4: Optimal biomass for a minimum loss

This condition leads to a non zero solution for S , as long as the second order condition (11) is also met for all positive S . We cannot conclude about the convexity of $V(S)$ under the weak assumptions made in (1) to (4). Given these assumptions on cost and damage functions, the first three terms are positive. The fourth is negative if $S < S_{MSY}$ and positive otherwise. The last term is always negative. The sign of V_{SS} is thus ambiguous. Consequently, the conditions to get a non zero optimal solution S^* are fairly restrictive. We may add that strongly increasing damage function (large F_{SS}) and rapidly decreasing externalities in absolute value (large C_{SS}) make an interior solution more likely.

The nature of the solution, eradication, controlled invasion, or *laissez-faire* seems very sensitive to parameters and to the functional forms for costs, damages and growth. Regulation and action levels are different and strongly depend on the characteristics of the colonized sites. As a matter of illustration in figure 5, 6 and 7, we provide typical forms of the $V(S)$ curve under different parameters of the cost and damage functional forms, with stock externalities.

Figure 5 is a combination of strong externalities and large and increasing damages. With strongly increasing damages and sharply raising costs of the lasts units of biomass, the best policy is likely to maintain an invasion control at a positive level. An amount is extracted each time period in order to maintain a constant biomass. It should be the case in many areas (Marais Poitevin marsh, Regional Natural Park of Brière, Pipet and Chourre, 2004). Figure 7 illustrates the corner solution of *laisser-faire*, $S^*=K$, when damages are small compared to costs of extraction, and $C_S + F_S$ is always negative. Simulation with large stock externalities (in absolute value) and low marginal damages lead to no intervention. It could be the case in closed area assumed useless and with no risk of spread of the invasion. Unlike, figure 6 illustrates the solution of eradication which corresponds to the case where the capture of the last individuals is not costly compared to the damages.

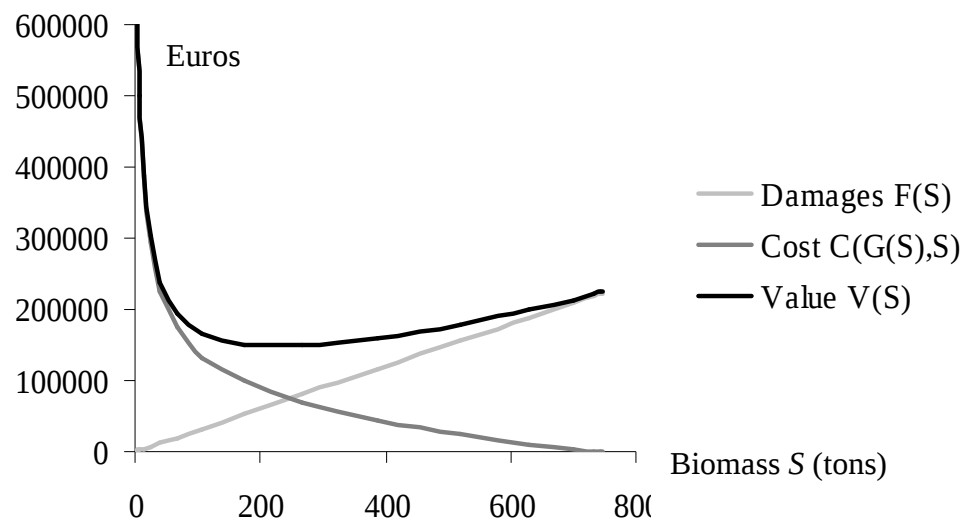


Figure 5: Existence of stock externalities: controlled invasion at a positive level of biomass

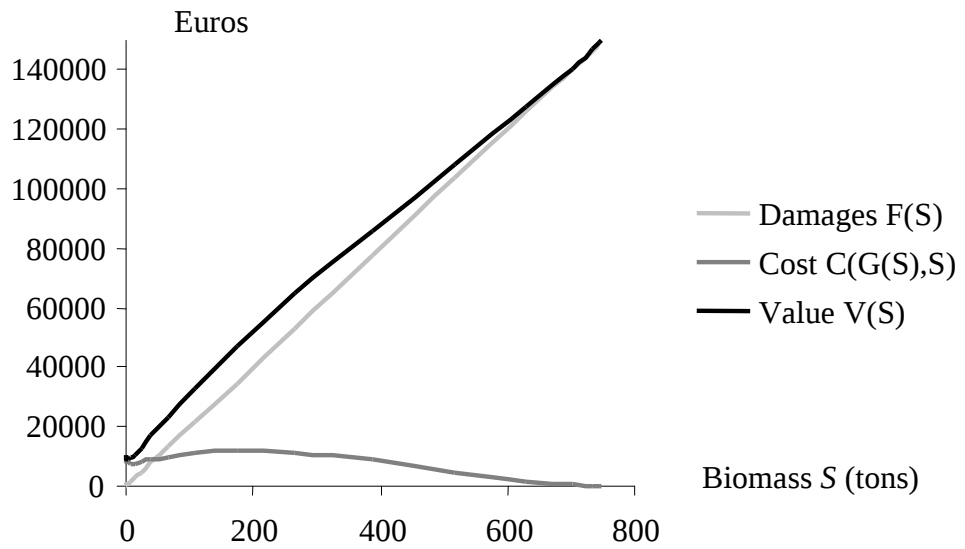


Figure 6: Low stock externalities and large marginal damages: eradication

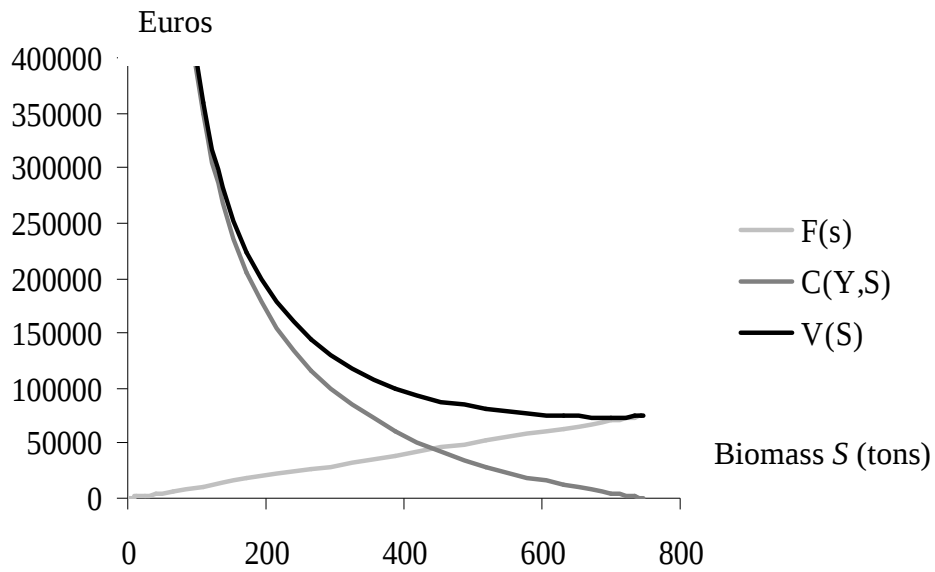


Figure 7: Large stock externalities and low marginal damages: no intervention

3 - A few empirical results

To complete the empirical application to *Ludwigia spp.* we need to estimate the cost, damages and growth functions. To that purpose, managers who are in charge of controlling the spread were surveyed to collect data, identify strategies and assess the benefit cost

efficiency of the actions. So far, data are too scarce to estimate a cost function. Nevertheless we have calibrated a cost function for both manual (51 to 64 Euro/ton) and mechanical (1100 to 1300 Euro/ton) techniques (figure 8). This heterogeneity is due to differences between sites characteristics and degree of invasion.

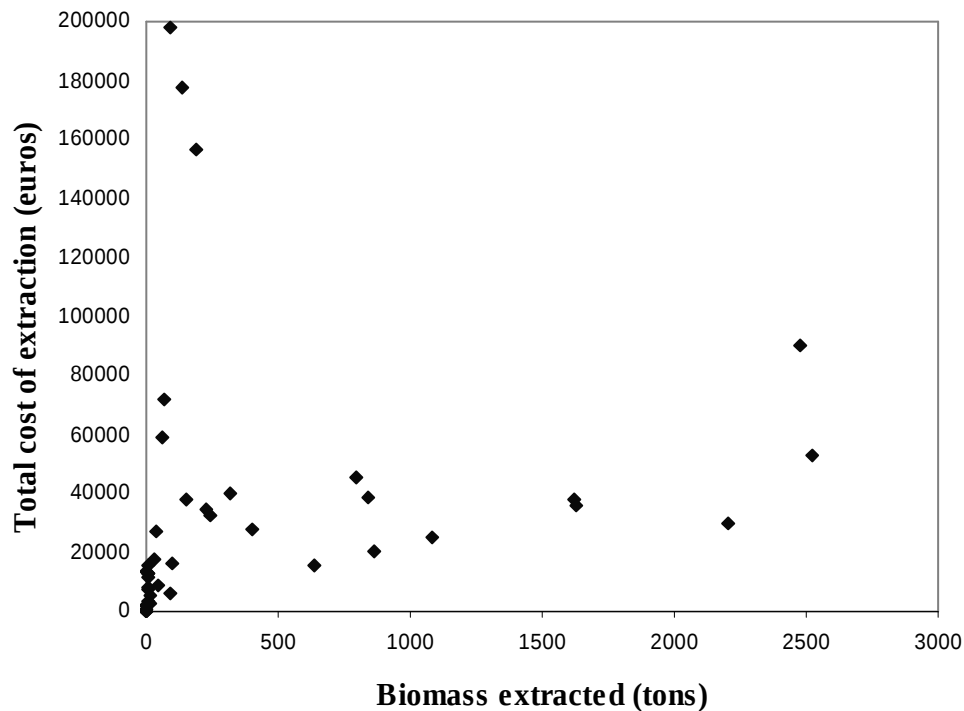


Figure 8: Some empirical evidence on total costs of control

Few empirical analysis have been made because we need some economic data on costs which are rather scarce. Then, the analysis essentially concerns the Marais Poitevin marsh. This site is particularly interesting because there is a sole manager who deals with all invaded areas by *Ludwigia spp.* Then, we avoid potential externalities between different managers and non consistent strategies of the invasion control. Experiences of control of *Ludwigia spp.* on the invaded area have been collected since about ten years. The data study shows that a logistic growth law is quite realistic, as figure 9 exhibits.

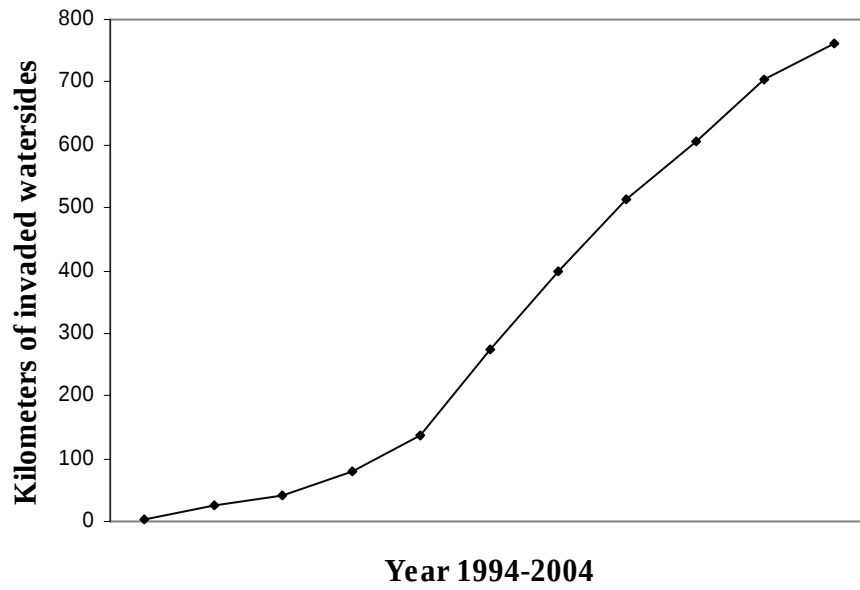


Figure 9: Evolution of *Ludwigia spp.* on the Marais Poitevin marsh

From empirical data on the Marais Poitevin marsh, parameters of the growth function has been estimated, assuming a logistic growth law: $\frac{dS}{dt} = rS(1 - S/K)$. The argument r and K correspond respectively to the intrinsic growth rate and the carrying capacity. Results are given in the following table (table 1).

Table 1: Estimation of the growth function parameters

Parameter	Estimate	t-statistics
r	0.712	7.68
K	768	18.76
R ² =0.76 ; 11 observations		

The invasion is evaluated in kilometres of colonized watersides. A counting of weeds according to their size is made since 2000. This allows us to convert easier the invasion into amounts in tons, which seems more useful to find a solution. Data on costs of the invasion control are too scarce but it still appears a decreasing relation between costs of extraction and the state of colonisation. This seems consistent with the existence of stock externalities. We try to calibrate a cost function depending on the amount extracted and on the stock biomass with a simple specification: $C(Y, S) = (aY + bY^2 + c)/S$. The estimated parameters are the following: $a = -362\,452$, $b = 1460.65$, $c = 73\,781\,900$, which provide the estimated cost function in figure 10.

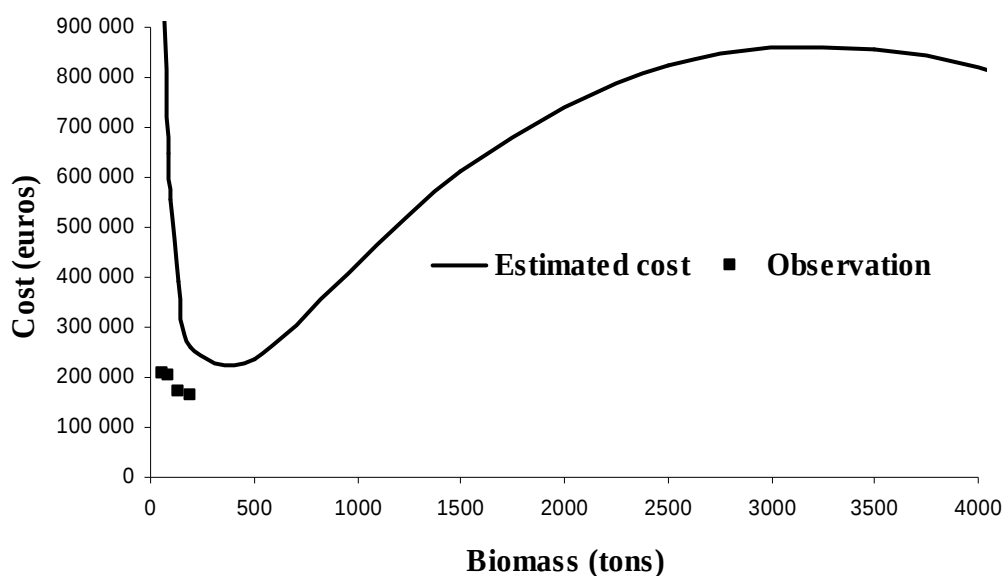


Figure 10: Cost function on the Marais Poitevin marsh

Damages are large and then difficult to evaluate. Numerous uses are affected by the spread of this invasive plant. At this stage, those only related to recreational uses are roughly evaluated from visitors spending on this site. We assumed the damages function to be increasing with the colonisation (70 euros/tons of biomass).

Then, on this site, the optimal solution of the management problem is a positive level of biomass at 250 tons which corresponds to an extraction of 174 tons. This situation is nearly this observed in 2004. It seems not interesting economically to let spreading the colonisation but eradication is not either optimal even if it was possible. This empirical analysis is quite simplistic and should be study thoroughly but require more data on costs and strategies of management in each colonized area.

4 - Conclusion

The modelling of invasive species management seems to have made little use of externalities. The first order conditions for discovering the optimal management strategy of an invasive species are to be used with caution. We have established the conditions for different strategies in the static approach. From an empirical view point, the analysis shows that eradication will always be the best policy if no stock externality exists and if damages are non decreasing. It does make sense, when it is easy to catch and destroy the ultimate individuals of an invasive species, to opt for preventive policy which consists of eradication. This case seems to be fairly rare. If however, the costs of catching these last individuals tend to sharply rise, i.e. in the presence of severe stock externalities, the best policy is likely to be a population control at a positive level and to regularly destroy a certain amount of the biomass to keep the colonisation stable. If damages are small and weakly increasing and if externalities are significant, a *laisser-faire* policy is more likely to prevail. The existence of stock externalities is in reality nearly necessary conditions to encounter a non corner solution. And the intensity of these externalities depends strongly on the characteristics of the invaded sites. All this analysis is static and provides long term equilibrium solution which should be achieved. But

we do not consider the transition to this solution. Moreover, depending on whether the state of colonisation is far from the optimal solution or not, it could be more costly to achieve it.

We need from managers who are in charge of controlling the spread of the *Ludwigia spp.* invasion to collect data, to identify strategies and assess the benefit cost efficiency of their actions. One of the most difficulties is to evaluate damages for most cases studied. Nevertheless, we try to calibrate the model for sites well managed where costs and biological data are allowable. Then, the first tries to use the few data from the managers of invaded sites give us information on what could be the optimal solution. Eradication seems not to be a solution. This is quite consistent with reality.

One of the problems of controlling invasive species we have to deal with is risk and uncertainty, especially about their spread. This has not been taken into account, but the control and strategies of the managers could be quite different. This model should be studied thoroughly in a dynamic framework. Indeed, spatio-temporal and/or intra annual dynamic of the invasive species could be added providing a more realistic model.

References

- Clark, C. 1990. Mathematical bioeconomics. John Wiley and Sons, second edition.
- Dutartre A. 2002. La gestion des jussies en France : état des lieux et perspectives. Journées Techniques Nationales Renouées, Besançon.
- Dutartre, A. 2004. De la gestion des plantes aquatiques envahissantes à la gestion des hydrosystèmes. Ingénieries. n° spécial : 87-100.
- Eiswerth, M., Johnson, W. 2002. Managing non indigenous invasive species: insights from dynamic analysis. Environmental and Resource Economics. 23: 319-342.

- Eiswerth, M., Van Kooten, G. 2002. Uncertainty, economics and the spread of an invasive plant species. *American Journal of Agricultural Economics*. 84: 1317-1322.
- Junqueira Lopez, R., Michel, P., Rotillon, G. (1993). Gestion bioéconomique d'une population et environnement, l'écrevisse *Procambarus clarkii*. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurale*. 29: 5-19.
- Knowler, D., Barbier E. 2000. Economic evaluation in classical biological control. In: Perrings, C., Williamson, M., Dalmazzone, S. (eds.). *The economic of biological invasions*. Cheltenham, Elgar Press.
- Olson, L., Roy, S. 2002. The economics of controlling a stochastic biological invasion. *American Journal of Agricultural Economics*. 84: 1311-1316.
- Perrings, C. 2005. Mitigation and adaptation strategies for the control of biological invasions. *Ecological Economics*. 52:315-325.
- Perrings, C., Williamson, M., Dalmazzone, S. 2000. *The economic of biological invasions*. Cheltenham, Elgar Press.
- Pipet, N., Chourre, G. 2004. Maîtrise de la colonisation et de la prolifération des Jussies dans le marais Poitevin, Institut Interdépartementale du Bassin de la Sèvre Niortaise (IBSN).
- Shogren, J., Tschirhart, J. 2005. Integrating ecology and economics to adress bioinvasions. *Ecological economics*. 52: 267-271.

Acknowledgements

We are most grateful to Alain Dutartre for helpful comments during the research program INVABIO and to Nicolas Pipet and Jean-Pierre Damien for providing us useful data and documents on *Ludwigia spp.*