



HAL
open science

ÉTUDE SUR LES PRATIQUES A RISQUE D'INVASION DE JUSSIE TERRESTRE EN CHARENTE MARITIME

Boussou Rachel

► **To cite this version:**

Boussou Rachel. ÉTUDE SUR LES PRATIQUES A RISQUE D'INVASION DE JUSSIE TERRESTRE EN CHARENTE MARITIME. Biodiversité et Ecologie. 2023. hal-04588913

HAL Id: hal-04588913

<https://hal.inrae.fr/hal-04588913v1>

Submitted on 27 May 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉTUDE SUR LES PRATIQUES A RISQUE D'INVASION DE JUSSIE TERRESTRE EN CHARENTE MARITIME :

*DANS QUELLE MESURE L'ÉPANDAGE DIRECT
OU INDIRECT DE JUSSIE SUR LES
TERRES AGRICOLES DE PROXIMITÉ PRÉSENTE UN
RISQUE POUR LES ÉCOSYSTÈMES ?*

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
Mars à Septembre 2023
Unité expérimentale de Saint-Laurent -
de-la-Prée
545 route du bois mâché, 17450, Saint
Laurent de la Prée



Rachel BOUSSOU

*Diplôme d'ingénieur agronome, spécialisation QEGR, ENSAT, Toulouse
Promotion T19*

*Master 2 Ecosystème et anthropisation, Université Paul Sabatier,
Toulouse*

**Tutrices INRAE : Lilia MZALI, Emilie CADET (Saint-
Laurent-de-la-prée),**

**Tutrice UMR CNRS ECOBIO : Gabrielle THIEBAUT
(Rennes),**

Tuteur ENSAT : Christophe LAPLANCHE (Toulouse)

« Nous n'avons pas fini d'être surpris, agacés, voire catastrophés par ces adversaires silencieuses mais ô combien efficaces de nos désirs de domination des territoires et de nos inconséquences en tant que jardiniers de la nature ! Et les jussies ne sont que deux éléments d'un cortège toujours en croissance... »

(A. Dutarte, 2018)

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Lilia MZALI, Gabrielle THIEBAUT ainsi qu'Emilie CADET pour leur encadrement, leurs encouragements et leur expertise. Merci de m'avoir confié ce travail captivant et d'avoir veillé à ce que je dispose de toutes les ressources nécessaires pour le mener à bien.

Je remercie également toute l'équipe de l'unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée, pour son accueil chaleureux, sa bienveillance et les discussions intéressantes partagées. Merci à tous pour le partage de vos connaissances dans vos domaines d'expertise, au cours de ces 6 mois, je pense notamment à l'équipe élevage, l'équipe culture et l'équipe biodiversité de l'unité expérimentale.

Je voudrais remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la mise en place de l'expérimentation et à l'arrosage des pots pendant les week-ends. Merci aux petites mains qui ont aidées pour la réalisation des relevés.

Une pensée particulière pour mes collègues stagiaires, Pierre-Louis BOUCHARD, Irène BURCKARD, Damaris STERLING pour les beaux échanges et discussions passionnantes qui ont rythmé ces 6 mois.

Je remercie particulièrement M. Vechambre et M. Bessaguet pour leur disponibilité pour répondre à mes questions ainsi que les membres de l'UNIMA m'ayant permis d'assister à un chantier d'arrachage de jussie.

Table des matières

Introduction	1
Structure d'accueil	5
Matériel et méthode.....	6
Sites de prélèvement :	7
Analyse préliminaire :	7
Stockage et conservation des graines de jussie :	7
Planification d'expérience :	7
Expérimentation 1 : Humidité du sol	7
Traits morphologiques mesurés :	8
Suivi de la phénologie	8
Suivi morphologiques sur la jussie :	8
Mesure des traits morphologiques finaux	9
Expérimentation 2 : Boue de curage et compétition	9
Traits morphologiques mesurés :	10
Autres expérimentations :	10
Banque de graine :	10
Relevés in situ :	10
Gestion des déchets de l'expérimentation :	11
Analyse statistique	11
Résultats	12
Expérimentation 1 : Germination et croissance des plantules de jussie en fonction du degré d'humidité du sol	12
Conditions météorologiques :	12
Effet de l'arrosage sur les traits morphologiques de la jussie :	12
Différences phénologiques.....	17
Expérimentation 2 : Effet de la présence de raygrass sur la germination et la croissance des plantules de jussie.....	18
Changement des traits morphologiques de la jussie en fonction du couvert végétal.....	18
Différences phénologiques :	21
Autres expérimentations :	21
Expérimentation 3 : Expression de la banque graine des boues de curage :	21
Suivi de terrain :	21
Discussion	22
Expérimentation 1 : Germination et croissance des plantules de jussie en fonction du degré d'humidité.....	22

Expérimentation 2 : Effet de la présence de raygrass sur la germination et la croissance des plantules de jussie.....	22
Autres expérimentations :	23
Expression de la banque de graine des boues de curage.....	23
Suivi de terrain :	23
Conclusion.....	24
Sources :	1
Articles scientifiques :	1
Sites:	3
Textes réglementaires :	3
Annexes :	I
Annexe 1 : Analyse de la terre de groie de Saint Hippolyte (Larca 2023).....	I
Annexe 2 : Analyse des boues de curage de Saint-Hippolyte (Larca, 2023)	III
Annexe 3 : Couvercle pour le traitement sans eau	V
Annexe 4 : Résultat brut des tests de comparaison par paire de Dunn, expérimentation arrosage.....	VI
Annexe 5 : Résultat brut des tests de comparaison par paire de Dunn, expérimentation compétition.	VI
Annexe 6 : Attestation de stage 2023	VII
Annexe 7 : Evaluation de stage par le tuteur entreprise	IX
Résumé.....	I
Anglais :.....	I

Fig. 1 : Design expérimental expérimentation arrosage (Boussou,2023)	8
Fig. 2 : Design expérimental expérimentation compétition entre le raygrass et la jussie (Boussou,2023)	10
Fig. 3 : Comparaison des températures moyennes mensuelles de l'année 2023 avec les normales de température (1981-2010) (Climatik, 2023).....	12
Fig. 4 : Cinétique de germination de la jussie en fonction des traitements arrosage. (Boussou,2023)	13
Fig. 5 : Effet du traitement arrosage sur le nombre final de jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn). (Boussou,2023)	14
Fig. 6 : Effet du traitement sur la biomasse créée de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn). (Boussou,2023)	14
Fig. 7 : Effet du traitement sur la croissance de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn) (Boussou,2023)	15
Fig. 8 : Evolution du taux d'humidité dans le sol des différents traitements pendant 74 jours. (Boussou, 2023)	16
Fig. 9 : Evolution des germinations de jussie en fonction de l'humidité du sol (Boussou, 2023)	16
Fig. 10 : Conditions météorologiques de température et de précipitation au cours de l'expérimentation 2023 (Source : Climatik)	17
Fig. 11 : Cinétique de germination de la jussie en fonction de la densité de raygrass. (Boussou, 2023)	18
Fig. 12 : Cinétique de la croissance moyenne des jussie en fonction de la densité de raygrass. (Boussou,2023)	19
Fig. 13 : Effet du traitement densité sur le nombre d'individu final. Comparaison par paire (Test de Dunn) (Boussou,2023)	20
Fig. 14 : Effet du traitement sur la croissance de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn) (Boussou,2023)	20
Fig. 15 : Effet du traitement densité de raygrass sur la masse sèche totale de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn) (Boussou,2023).....	21
Fig. 16 : Couvercle en plastique transparent permettant de protéger les pots S de l'apport d'eau par les précipitations (Boussou, 2023)	V
Tab. 1 : Tableau récapitulatif des différentes expérimentations liées au stage	6
Tab. 2 : Détail des pratiques mises en place sur les boues de curage inventoriées (Boussou, 2023).....	11
Tab. 3 : Précipitations mensuelles de l'année et 2023 à Saint Laurent de la Prée, (Climatik, Infoclimat, WeatherSpark,2023).	12
Tab. 4 : Réponse des traits morphologiques de la jussie au traitement.	13
Tab. 5 : Effet de la présence ou non de raygrass sur la croissance des plantules de jussie	19
Tab. 6 : Tableau de comparaison entre les traitements de l'expérimentation arrosage.....	VI
Tab. 7 : Tableau de comparaison entre les traitements de l'expérimentation compétition.	VI

Introduction

La mondialisation et l'augmentation des échanges commerciaux, ont généré une augmentation du nombre d'introductions volontaires et involontaires d'organismes vivants dans les écosystèmes. De nombreuses espèces ont été importées pour diverses raisons : ornementales comme le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum, aquaticum*) dans la région bordelaise, ou les jussies près de Montpellier (Thiébaud, 2007), pour la stabilisation des dunes comme la griffe de sorcière (*Carpobrotus edulis*) sur l'île de Bagaud (Braschi, 2021) ou encore pour l'aquariophilie comme l'azolle (*Azolla filiculoides*) (CDR EEE, 2017). Certaines espèces s'intègrent dans les écosystèmes sans créer de modifications majeures. D'autres s'implantent, se multiplient et par leur compétitivité, créent des déséquilibres dans le nouvel écosystème colonisé. Toutes les espèces transférées, d'un écosystème à un autre, ne deviennent pas envahissantes, seul 10 à 15 % le deviennent (ONB, 2022). Avant de devenir invasive, l'espèce introduite doit être capable de franchir plusieurs filtres biotiques, abiotiques (étape d'établissement), de se multiplier dans le milieu d'introduction (étape de naturalisation) et de se disperser au sein des corridors écologiques (étape d'expansion) (Catford et al., 2009 ; Thouvenot, 2012 ; Dandelot, 2004). Ces espèces sont désormais reconnues comme un frein conséquent pour les usages mais représentent aussi une menace majeure pour la biodiversité. Leur classification parmi les causes de perte de biodiversité est controversée. Certains travaux ont mis en évidence que ces espèces contribuent au déclin des espèces indigènes¹ et à la dégradation des écosystèmes (Thiébaud et al., 1997 ; Dutartre et al., 1997). Les espèces exotiques envahissantes (EEE) peuvent aussi avoir un impact économique et/ou sociétal. Leur gestion nécessite du temps et des ressources financières. Le coût annuel généré par la gestion et la réparation des dommages causés par les invasions biologiques est estimé à 12.5 milliards d'euros par an en Europe (Sénat, 2022).

La France fait partie des 3 premiers pays les plus impactés financièrement. Parmi les EEE les plus préoccupantes en France et au niveau de l'Union Européenne, deux espèces de jussie (*Ludwigia grandiflora* subsp. *hexapetala* et *Ludwigia peploides*) sont les plus coûteuses en termes de gestion car elles sont au cœur d'une lutte systématique dans les milieux à fort enjeu comme le marais de Gannedel (ENS², département 35). Le coût de gestion des espèces végétales envahissantes en France est estimé à 4,48 milliards d'euros. *Ludwigia. spp* accumule pour sa gestion jusqu'à 67% de ce budget (Charvolin et al., 2018). Ce n'est que depuis 2007, que la France a adopté un arrêté concernant *Ludwigia spp*. Ce texte interdit, sur l'ensemble du territoire national, toutes les actions de commercialisation et d'achats, les utilisations, et l'introduction dans l'écosystème naturel (volontaire ou non). Le décret concerne les deux espèces de jussie : *L. grandiflora* et *L. peploides*. (Legifrance, 2007). Les jussies ont été depuis 2014 inscrites sur la liste européenne des EEE préoccupantes (Journal Officiel de l'UE, 2016). Originaire d'Amérique du Sud et centrale, les deux espèces de jussie ont été introduites pour la beauté de leur fleur en Europe. Introduite en 1820 dans le jardin botanique de Montpellier, les deux espèces ont colonisé plusieurs rivières, en commençant par le Lez puis en se propageant tout autour du bassin méditerranéen jusqu'à la côte atlantique (Mikulyuk, 2009). La jussie est une

¹ Espèce indigène : 'Espèce' ayant colonisé le territoire considéré par des moyens naturels, ou bien à la faveur de facteurs anthropiques, mais dont la présence est dans tous les cas attestés avant 1500 ans après JC [...]
(Geslin, 2011)

² ENS: Espace Naturel Sensible

plante aquatique amphibie d'eau douce se reproduisant principalement de manière végétative. Sa capacité de bouturage élevée lui permet de coloniser rapidement les écosystèmes à travers les voies d'eau. Sa reproduction sexuée reste faible, seulement 25% des populations de jussie sont fertiles (Le Gall, 2021). Cependant, depuis une vingtaine d'années, les jussies produisent des fruits fertiles. Ceci est particulièrement le cas de *L. peploides* (Portillo Lemus, 2021) Les jussie ont une croissance extrêmement rapide pouvant aller jusqu'à 2 cm par jour (CBNB, 2008) ce qui constitue un atout pour coloniser de nouveaux habitats. Ces deux espèces vivent principalement dans des milieux lenthiques, en conditions ensoleillées. On les retrouve notamment au niveau des marges humides d'étangs, de mares et de lacs. Elles sont cependant aussi présentes dans les rivières, les canaux, les marais et marécages, les prairies humides et parfois dans les eaux saumâtres. (EPPO, 2011a ; Zotos et al., 2006)

Les jussies peuvent former des herbiers denses monospécifiques qui induisent des nuisances. En effet, les couverts denses de *Ludwigia. spp*, modifient les caractéristiques physiques des masses d'eau : ralentissement de l'écoulement de l'eau, sédimentation accélérée, et accumulation de litière (OEPP, 2011). Ils induisent également des modifications chimiques notamment du pH et de la concentration en oxygène. (Dandelot et al., 2008). Ces modifications du milieu entraînent un changement d'habitat impactant de ce fait les communautés inféodées à ces milieux.

Plusieurs méthodes de gestion existent pour lutter contre les invasions de la forme aquatique de *Ludwigia spp*. Delbart et al., (2012), ont analysé l'efficacité de ces différentes méthodes : lutte chimique, biologique et physique. Ainsi, même si la lutte chimique est la plus mentionnée dans la littérature, son efficacité est assez faible et dépend de la substance active utilisée et des spécificités de l'écosystème (Dutartre, 2002). De plus le risque de pollution de l'environnement n'est pas à négliger. En France, l'utilisation d'herbicide est interdite dans les cours d'eau bien que pendant un certain temps, une dérogation ai permis d'en utiliser (Dutarte et al, 2015). La lutte biologique utilisée sur certaines espèces comme la jacinthe d'eau en Afrique du Sud n'est pas utilisée en France. Elle nécessite des longues études préalables sur le risque d'introduction de prédateurs /pathogènes exotiques sur le fonctionnement des écosystèmes et sur les chaines trophiques. La lutte mécanique ou l'arrachage manuel sont les méthodes les plus utilisées. L'avantage de l'arrachage mécanique est qu'il permet de gérer une grande surface (Dutartre et Tremea, 1990). Cependant, cette méthode n'est pas spécifique. Par conséquent, une partie de la faune et de la flore locales peut être éliminée pendant les travaux. L'usage d'engins mécaniques favorise également la remise en suspension des sédiments et la destruction ou le tassement des berges (Carpenter et Adams, 1977). En revanche, l'arrachage manuel permet une action plus spécifique et peut être réalisé dans des zones non accessibles aux engins. Cette méthode n'est pas adaptée aux grandes surfaces, et nécessite des moyens humains importants (Rebillard et al, 2002). Une diversification des méthodes de lutte fait l'objet de recherche : pour le morphe aquatique, on s'intéresse au niveau d'eau (assec ou élévation du niveau d'eau), à la salinité dans les territoires de transition ou encore à la ressource lumineuse... pour le morphe terrestre : le pâturage, la salinisation, et différentes techniques de fauche sont actuellement à l'essai (Pestie, 2022).

Après arrachage, les jussies ou les boues de curage peuvent être épandues sur les terres agricoles. Le risque de colonisation de jussie terrestre à partir de graines n'a pas fait l'objet de travaux à notre connaissance.

Afin d'encadrer les opérations de dépôt de jussie sur les bords des cours d'eau et sur les terres agricoles, le gouvernement a mis en place des mesures pour limiter l'expansion de l'espèce. La note ministérielle du 02 novembre 2018 relative à la mise en œuvre des opérations de lutte contre les EEE³ (MTES,2018) mentionne ce qui suit : « Les individus prélevés (faune/flore) doivent être exfiltrés du site dans la mesure du possible et traités convenablement pour éviter toute dissémination ultérieure [...] ». Il y est également indiqué que le compostage en centre de traitement doit être privilégié et que le compostage sur site n'est pas conseillé, afin d'éviter toute propagation ultérieure. L'augmentation de la biomasse extraite implique aujourd'hui une réflexion sur la gestion de ces déchets. En France, la principale méthode de valorisation est d'utiliser cette biomasse comme engrais vert grâce à des unités de compostage ou de la transformer via la méthanisation. (Dutartre, 2002).

Dans le marais Charentais, la jussie est présente depuis plusieurs dizaines d'années. Pour être conforme à la note ministérielle du 02/11/2018, elle est arrachée manuellement.

Le Syndicat Mixte de Charente Aval (SMCA) est la collectivité en charge de l'entretien des cours d'eau et des actions d'arrachage de la jussie. Elle travaille avec l'unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée et l'UMR Ecobio dans le cadre d'un contrat de recherche. Ainsi, les gestionnaires bénéficient de leur appui scientifique sur les risques liés à des pratiques alternatives de destruction de la jussie (épandage sur des terres agricoles). En effet, les frais d'arrachage, de transport ainsi que les frais d'admission dans les centres de compostage sont élevés.

Si le retour d'expérience de gestion de l'espèce est les moyens de lutte existants sont largement documentés depuis plusieurs décennies, les articles scientifiques sur l'écologie et la biologie des jussies sont récents (Dandelot et al., 2005, Ruaux, 2008 ; Thouvenot et al., 2013 a, b, c ;2015, Gillard et al.,2017a,b,c ; 2020,2021).

L'objectif du programme de recherche-action est d'évaluer le risque de colonisation par *Ludwigia peploides* des marais de Rochefort en fonction des pratiques agricoles et des méthodes de gestion de l'espèce. Ce programme comporte 2 volets : un volet réalisé en 2022 sur la capacité de germination et de croissance de fragments et de graines de jussie sur différents types de sols locaux et un en 2023 sur le rôle de l'humidité du sol sur la capacité de germination de la jussie et sur le risque d'invasion liés à l'épandage de boues de curage. Les missions qui m'ont été confiées lors de mon stage ont consisté à la mise en place des expérimentations de 2023, au traitement statistique des résultats des expériences de 2022 et de 2023 et à l'analyse des résultats. Un suivi de terrain sur des parcelles agricoles du marais charentais pour inventorier les potentielles reprises de jussies sur les boues de curage a été mené en parallèle. Les résultats des expériences de 2022 et du suivi de terrain ne seront pas présentés en détail dans ce rapport.

³ EEE : Espèces Exotique Envahissante

L'étude de 2023 est réalisée à trois niveaux. Une première partie de cette étude est réalisée en laboratoire en conditions contrôlées. Elle vise à tester la capacité de germination des graines de jussie de la population de Saint-Laurent-de-la-Prée à deux régimes de température. Notre hypothèse initiale était que l'augmentation de la température favorise la germination des graines.

La seconde partie, celle que nous aborderons plus en détail est réalisée en conditions semi-contrôlées. Elle consiste en deux expérimentations. La première vise à identifier le rôle de l'humidité du sol sur la capacité de germination de la jussie. L'hypothèse initiale est que la germination des graines de jussie *L. peploides* est favorisée dans les sols agricoles qui restent humides.

Ainsi des apports réguliers soit par les précipitations, soit par la nappe favoriserait la germination des graines de jussie et le risque de colonisation du marais.

La seconde expérimentation menée est centrée sur le risque de colonisation du marais à partir des boues de curage. En effet les gestionnaires de cours d'eau sont amenés à curer les fossés régulièrement (tous les 5 à 10 ans). Il est possible que de la jussie soit présente dans les boues puis régaliée en bordure de parcelle. De plus, en fonction de la période de curage et du stade phénologique de la jussie, il est probable que les boues contiennent aussi des graines de jussie. En effet, la durée de vie des graines est relativement longue bien que mal documentée. (CCEAU, 213). Fried, (2012) estime que la durée de vie des graines de jussie dans le sol est d'environ de 3 à 5 ans. Les boues étant plus stables, on se demande alors qu'elle pourrait être la durée de vie de graines contenue dans ces boues. Ainsi, l'objectif de cette deuxième expérimentation est d'étudier la capacité de germination et de croissance des graines de jussie sur les boues de curage en tenant compte de la gestion agricole de ces boues (présence ou non d'une compétition avec une autre espèce). Notre hypothèse était que la présence de raygrass a semé à forte densité, limite la germination et la croissance des plantules de jussie et donc qu'un semi de raygrass sur les boues permettrait d'éviter une colonisation du marais par la jussie à partir de ces boues.

Enfin, le troisième niveau correspond à la partie in situ. Les inventaires terrains permettent d'apporter des données sur les populations de jussie terrestre sur les boues de curage dans les marais. Ainsi, nous pourrions confronter les conclusions issues des expérimentations en laboratoire et en conditions semi contrôlées à la réalité du terrain dans les marais charentais. Notre hypothèse était que l'âge et les pratiques de gestion appliquées aux boues de curage permettraient de limiter la colonisation des boues par la jussie.

Structure d'accueil

L'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement a été créé le 01 janvier 2020. Il découle de la fusion entre l'INRA et l'IRSTEA. Sa vocation est de produire et propager la connaissance pour répondre aux enjeux de la société et d'être un moteur de l'innovation, l'expertise et un support pour les politiques publiques. INRAE possède 18 centres de recherche en France et en outre-mer et réalisé des partenariats avec 33 sites universitaires.

L'unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée, en Charente maritime est localisée entre terre et mer, dans les marais desséchés de Rochefort sur mer. Dans les années 70 ces marais ont été aménagés pour être en partie mis en culture. Actuellement, 21 personnes travaillent sur l'unité alliant des compétences en écologie, en agronomie, en zootechnie, gestion de l'eau, et géomatique. Avec 160 ha dont 100 en prairie permanente et 60 en culture, ainsi qu'une centaine d'animaux de race maraîchine, l'unité travaille sur la transition agroécologique des fermes en marais. Pour cela elle met en œuvre une expérimentation-système, accompagnée d'expérimentations analytiques pour mettre en lumière certaines problématiques.

A l'interface entre plusieurs disciplines, l'expérimentation autour de la problématique de la jussie apporte des connaissances pour la gestion des réseaux d'eau sur l'exploitation agricole. Ce projet s'inscrit pour l'INRAE dans la démarche d'accompagnement et d'appui aux politiques publiques de l'UE DSLP4 en partenariat avec des acteurs des territoires de zones humides.

Le projet jussie est réalisé en collaboration avec le Pr Gabrielle Thiébaud de l'UMR CNRS 6553 "ECOBIO" de l'Université de Rennes. Les travaux de recherche développés au sein de l'UMRCNRS ECOBIO couvrent plusieurs domaines de l'écologie : écologie évolutive, écologie comportementale, écologie des communautés, écologie fonctionnelle et écologie du paysage. L'UMR ECOBIO analyse les dynamiques de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes continentaux face aux changements globaux en cours dans une optique de développement durable. La problématique des espèces exotiques envahissantes se retrouve donc au cœur des travaux de recherches de l'unité de recherche.

⁴ UEDSLP : Unité expérimentale Domaine de Saint-Laurent-de-la-Prée

Matériel et méthode

Dispositif expérimental sur le projet jussie :

Tab. 1 : Tableau récapitulatif des différentes expérimentations liées au stage

Expérimentation	Objectif	Conditions	Mesures	Facteurs
Expérimentation sols locaux 2022-2023	-Tester la capacité de germination des graines sur des sols agricoles -Tester la capacité de croissance de fragments de jussie sur des sols agricoles	Conditions semi-contrôlées	-Germination -Survie -Croissance -Masse fraîche -Phénologie	-Température - Précipitations
Fertilité graines jussie 2023	-Tester la capacité de germination des graines de jussie	Conditions contrôlées	-Germination	-Température
Expérimentation arrosage 2023	-Tester l'effet de l'humidité du sol sur la capacité de germination et de croissance de la jussie	Conditions semi-contrôlées	-Germination -Survie -Croissance -Masse fraîche -Masse sèche -Phénologie	-Température -Précipitations -Humidité sol
Expérimentation compétition 2023	-Tester l'effet de la compétition avec du raygrass sur la germination et la croissance de la jussie	Conditions semi-contrôlées	-Germination -Survie -Croissance -Masse fraîche -Masse sèche -Phénologie	-Température -Précipitations
Expérimentation banque de graine 2023	-Tester si la banque de graine des boues de curage contient des graines de jussie viables.	Conditions semi-contrôlées	-Germination -Phénologie	-Température -Précipitation
Relevés in situ 2023-....	Inventorier la présence de jussie terrestre sur les boues de curage	In situ	Dénombrement	

Sites de prélèvement :

La même population de *L.peploides* a été prélevée dans les fossés attenants aux parcelles de l'Unité Expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée (45°59'19.5"N ; 1°01'27.3"W) dans le cadre des deux expérimentations de 2023 (Arrosage E1, Compétition E2). Les capsules mûres ont été prélevées en octobre 2022. La collecte a été réalisée sur des ramifications espacées de plusieurs mètres les unes des autres afin d'obtenir une hétérogénéité d'individus. Le raygrass anglais ouragan a été fourni par la coopérative agricole de Tonnay-Boutonne. La boue de curage a été prélevée en mars 2023 en bordure de fossé sur une prairie semée à Saint Hippolyte appartenant à M. Vechambre (45°54'53.7"N 0°52'44.6"W). Le sol agricole de groie⁵ (S2) a été prélevé en bordure de parcelle à Saint-Hippolyte, sur un sol labouré pour l'expérimentation E1 (45°55'31.3"N 0°52'39.4"W).

Analyse préliminaire :

Afin de vérifier la capacité de germination des graines collectées mais aussi de compléter les données sur la capacité de *L. peploides* à produire des fruits fertiles, des tests de germination ont été réalisés au préalable au laboratoire ECOBIO, à Rennes. Ces tests ont montré un fort taux de germination en conditions optimales de température et d'humidité (>90%) de la population de jussie (ECOBIO, communication personnelle).

Stockage et conservation des graines de jussie :

Après la collecte, les capsules ont été conservées entre 2 et 4°C au réfrigérateur jusqu'à l'extraction des graines. En avril 2023, 108 capsules ont été trempées dans de l'eau du robinet pendant 48h afin de faciliter l'extraction. 20 graines par capsules ont été extraites. Dans une capsule de jussie, des graines moins bien formées sont observées aux extrémités. C'est pourquoi, les prélèvements ont été réalisés préférentiellement au centre de la capsule afin d'éviter l'effet « extrémité ». Les graines collectées ont ensuite été conservées au réfrigérateur (2 à 4°C) jusqu'au lancement de l'expérimentation. Les graines de raygrass anglais ont été conservées dans les mêmes conditions que celles de jussie.

Planification d'expérience :

Expérimentation 1 : Humidité du sol

Les graines de jussie ont été semées avec une densité de 30 graines dans des pots de 300cl (L x L x H ; 15.5 x 15.5 x 18.5) remplis de terre de groie S2. Les terres de groies sont des terres limono-argilo-sableuse. Le taux de matière organique (28.7 g/Kg) est classé « souhaitable » et le ratio C/N est « satisfaisant » (C/N=9.3) (Larca 2023, **Annexe 1**). Les pots ont été placés en extérieur pendant deux mois et demi afin d'être soumis aux conditions climatiques. Un placement aléatoire des pots selon trois blocs a été conçu à l'aide de la fonction randomisation sur R studio (**Fig1**).

⁵ Terre de groie : Sol brun rougeâtre issu de la décalcification du calcaire et comportant en général des fragments de roche ; fertile mais souvent peu épais et vite asséché.

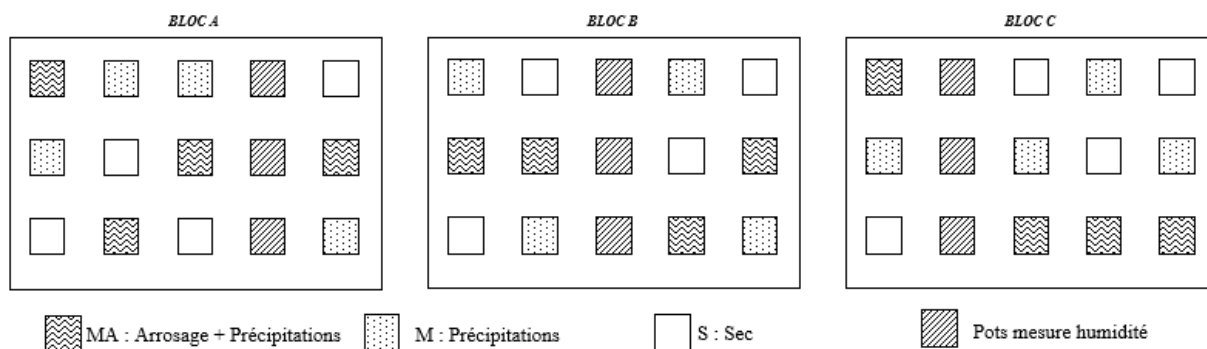


Fig. 1: Design expérimental expérimentation arrosage (Boussou,2023)

Trois modalités ont été testées :

- Modalité MA : semis de 30 graines de jussie par pot. Arrosage au goutte à goutte et apport d'eau des précipitations. Le pot est maintenu en conditions humides.
- Modalité M : semi de 30 graines de jussie par pot. Apport d'eau uniquement des précipitations.
- Modalité S : Semi de 30 graines de jussie par pot. Pas d'apport d'eau. La modalité S a été maintenu au sec par le biais d'un couvercle empêchant tout apport d'eau. Le couvercle a été conçu de façon à limiter l'effet « serre » et de permettre une bonne circulation de l'air (**Annexe 3**).

Afin de vérifier la viabilité des graines sous couvercle à l'issue de l'expérimentation, les pots secs ont été arrosés.

Une station météorologique complète est présente sur le site et permet de mesurer différents paramètres. La température moyenne, maximale et minimale journalière ainsi que les précipitations ont été relevés.

De plus, un suivi de l'humidité des pots a été réalisé tout au long de l'expérimentation à l'aide d'une sonde humidité.

Traits morphologiques mesurés :

Afin d'évaluer l'impact de nos différents traitements sur la capacité de germination et de croissance de la jussie, nous avons suivi plusieurs traits biologiques.

Suivi de la phénologie

Dès le début de l'expérimentation, l'évolution des stades phénologiques de la jussie a été notée afin d'évaluer le taux et la vitesse de germination de la jussie. Une mise en relation avec les conditions météorologiques ainsi qu'une comparaison avec les observations réalisées sur le terrain a été effectuée.

Suivi morphologiques sur la jussie :

Au cours de l'expérimentation, une mesure de traits morphologiques a été réalisée pour chaque traitement. A partir du 03/07/2023 la mesure de la ramification la plus longue a été prise pour 1 individu par pot. Cet individu a été marqué à l'aide d'une ficelle. La longueur a été prise depuis la première intersection entre les différentes ramifications.

Mesure des traits morphologiques finaux

A la fin des 2 mois et demi d'expérimentation, nous avons réalisé les mesures suivantes dans chaque pot. La longueur de la ramification marquée a été mesurée, ainsi que celle de la ramification maximale de chaque pot. Lorsque la ramification marquée par la ficelle correspondait à la plus grande du pot, nous avons choisi de mesurer la deuxième ramification la plus longue. Les individus ont été dénombrés dans chacun des pots des différents traitements. Pour les masses, la mesure de la masse fraîche a été réalisée dans un premier temps. Les racines et les parties aérienne ont été séparées afin d'obtenir les masses fraîches aérienne et souterraines produites par pots pour chaque traitement. Les racines et les parties aériennes ont été séparées puis séchées à l'étuve pendant 48h à 70°C afin d'éliminer l'eau contenu dans les végétaux. La mesure de la masse sèche a été réalisée à l'issue des 48 heures de séchage.

Expérimentation 2 : Boue de curage et compétition

Le raygrass a été choisi comme espèce concurrente car c'est une espèce souvent semée sur les boues de curage dans les exploitations des marais. Le raygrass a été semée avec une densité maximale de 30 graines par pot en se basant sur les densités réelles semées par les agriculteurs (20 Kg/ha). Au préalable, les boues de curage ont été stérilisées à l'étuve à 60°C pendant 72h afin d'inhiber le pouvoir germinatif des graines contenues dans les boues.

Les boues de curage sont caractérisées comme un sol argileux. Le ratio C/N est relativement faible (C/N=7.9) (Larca 2023, **Annexe 2**). Au cours de l'expérimentation, les pots ont été placés en extérieur pendant 2 mois et demi afin d'être soumis aux conditions climatiques. Les pots ont été placés aléatoirement selon 3 blocs (**Fig. 2**) et arrosés afin de maintenir le sol dans des conditions optimales d'humidité pour la jussie (apport moyen de 300ml d'eau par jour par le goutte-à-goutte).

Les graines de jussie et de raygrass ont été semées simultanément (le 22 mai) dans des pots de 3L (L x L x H ; 15.5 x 15.5 x 18.5) remplis de boue de curage. La densité de semis varie en fonction du traitement. 9 réplicats par traitement ont été mis en place au sein de 3 blocs. Cinq modalités ont été testées (**Fig.2**) :

- Modalité **J** : Semi de 30 graines de jussie par pots
- Modalité **R** : Semi de 30 graines de raygrass par pots
- Modalité **D0** : Semi de 30 graines de raygrass et 30 graines de jussie par pot
- Modalité **D1** : Semi de 3 graines de raygrass et 30 graines
- Modalité **D2** : Semi de 3 graines de jussie et 30 graines de raygrass

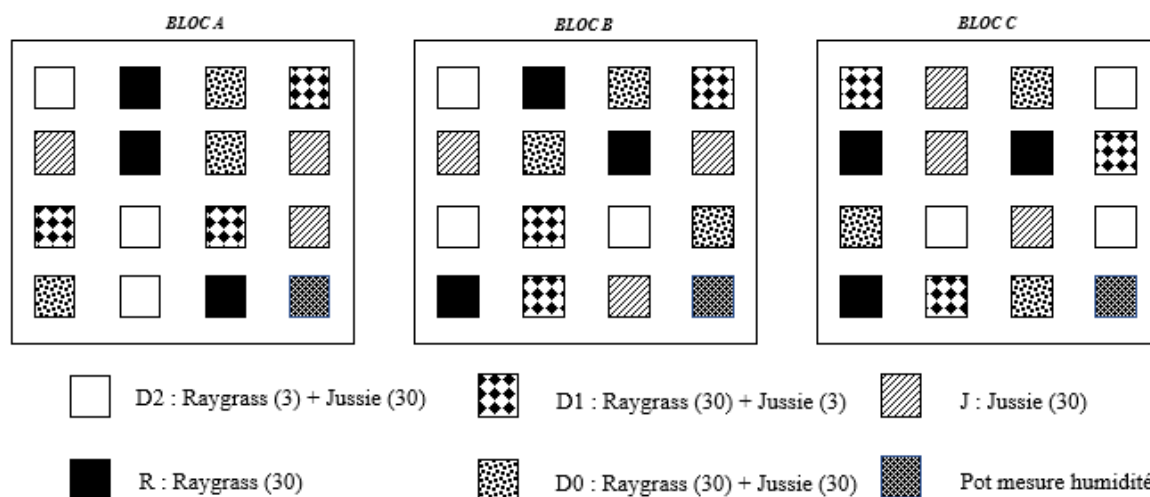


Fig. 2 : Design expérimental expérimentation compétition entre le raygrass et la jussie (Boussou,2023)

Traits morphologiques mesurés :

Les suivis des traits morphologiques, de la phénologie et les mesures finales sont les mêmes que ceux réalisés dans l'expérimentation arrosage (voir paragraphe « Traits morphologiques mesurés » p.8).

Autres expérimentations :

Banque de graine :

La même boue de curage que pour l'expérimentation compétition (E2) a été utilisée. Les pots ont été placés en extérieur pendant 2 mois et demi afin d'être soumis aux conditions climatiques. Les pots ont été arrosés afin de maintenir le sol dans des conditions optimales d'humidité pour la jussie (apport moyen de 300ml d'eau par jour par le goutte-à-goutte). Des pots de 3L (L x L x H ; 15.5 x 15.5 x 18.5) ont été remplis de boue de curage. 12 répliquats ont été réalisés.

Relevés in situ :

Afin de compléter et confronter les expérimentations avec des observations de terrain, des inventaires de jussie terrestre ont été réalisés sur des boues de curage épandues en bordure de parcelles agricoles. Une première partie des inventaires a été réalisée à Moragne, sur des prairies pâturées. La deuxième partie a été réalisée à Saint Hippolyte, sur des prairies et champs cultivés. Différents types de pratiques ont été réalisées sur les boues de curage. Les inventaires ont porté d'une part sur des boues d'âge différent (allant de boues curées en 2012, jusqu'à des boues curées en 2022), et d'autre part, sur des boues ayant subi des pratiques de gestion différentes : boues semées, boues non semées, boues déchaumées, boues non déchaumées. (**Tab.2**).

Tab. 2 : Détail des pratiques mises en place sur les boues de curage inventoriées (Boussou, 2023)

Age des boues	Pratique	N° Parcelle Moragne	N° Parcelle Saint Hippolyte
2022	Boue déchaumée et semée	P1 bis	P2, P3, P4, P5
	Boues déchaumées non semée	P1, P2	P3
	Boues non déchaumées		P8
2019	Boue non déchaumée, non semée	P2	
2012	Boue semées		P2
	Boue non semée		P2

Gestion des déchets de l'expérimentation :

Etant donné la classification de la jussie en tant qu'espèce exotique envahissante, la gestion des déchets de l'expérimentation nécessite une attention particulière. En effet, le dépôt de jussie dans les écosystèmes pourrait engendrer une nouvelle invasion. De ce fait pour ce qui est de la biomasse végétale produite au cours de l'expérimentation, le passage à l'étuve pour la pesée de la masse sèche a permis de dévitaliser les parties végétatives et racinaires de la jussie. Ainsi ces déchets peuvent être traités comme déchet verts et mis au compost. Pour ce qui est des graines de jussie et des restes de capsules issus de l'extraction, une poubelle spéciale jussie a été créé. Le contenu de cette poubelle a été passé à l'étude afin d'inhiber le pouvoir germinatif des graines présentes. Les sols utilisés pour l'expérimentation présentent aussi un risque. En effet, des graines de jussies semées sont potentiellement encore présentes dans la terre cultivée ou dans la boue de curage. Pour cela nous avons réalisé une stérilisation de ces terres à 80°C pendant 1 semaine. Ces terres ont été par la suite épandues sur une parcelle agricole qui n'est pas en zone humide afin de limiter au maximum le risque de germination des graines.

Analyse statistique

Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide de R Studio. Les représentations graphiques ont été réalisées sur à l'aide du package ggplot2 (Wickham, 2016). Les mesures finales ont été analysées en utilisant le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Moins puissant qu'une analyse de variances, ce test est choisi car les résultats des tests de normalité (test de Shapiro-Wilk) ne sont pas significatifs, les données collectées ne suivent donc pas une loi normale (une des conditions nécessaires pour réaliser l'ANOVA). Le test de Kruskal-Wallis permet de déterminer les différences significatives entre les groupes, mais ne conclue pas sur la relation de causalité entre les observations et le traitement. Le risque α , qui correspond à la possibilité de rejeter une hypothèse alors qu'elle est vraie, est fixé à 5%. L'hypothèse H_0 , qui correspond à une absence d'effet du traitement, est rejetée lorsque la p-value est inférieure à α . (p_value < 0.05). Le test de Dunn et la taille de l'effet donnent cependant des informations complémentaires en calculant la taille de l'effet et en réalisant une comparaison par paires.

Résultats

Expérimentation 1 : Germination et croissance des plantules de jussie en fonction du degré d'humidité du sol

Conditions météorologiques :

L'année 2023 a été caractérisée par un été pluvieux (104 mm cumulé sur les mois de juin, juillet et août) et des températures allant jusqu'à +2.5°C au-dessus de la normale. (**Fig.3, Tab 3**).

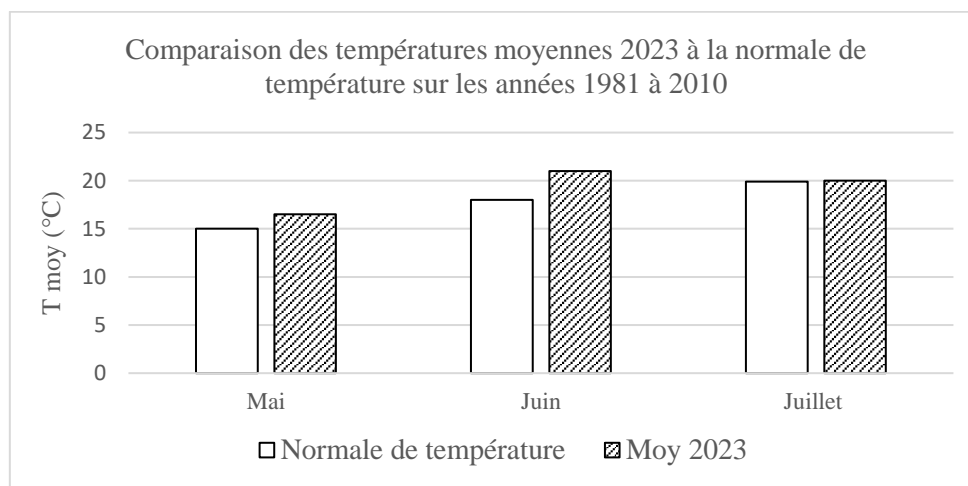


Fig. 3 : Comparaison des températures moyennes mensuelles de l'année 2023 avec les normales de température (1981-2010) (Climatik, 2023)

Tab. 3 : Précipitations mensuelles de l'année et 2023 à Saint Laurent de la Prée, (Climatik, Infoclimat, WeatherSpark, 2023).

Mois	Précipitation des normales (en mm)	Précipitations cumulées 2023 (en mm)
Avril	52,4	40
Mai	53,4	36
Juin	36,9	39
Juillet	44,6	30
Aout	38,3	35

Les symboles inférieurs ou supérieur (>, <) comparent les années 2022 et 2023. Les mois au-dessus de la normale sont représenté en gras.

Effet de l'arrosage sur les traits morphologiques de la jussie :

La cinétique de germination (**Fig.4**) met en évidence un décalage de germination entre les 3 traitements. Des germinations sont apparues dès 8 jours après le semi dans les pots arrosés MA tandis qu'il s'est écoulé 20 jours avant l'observation de la première germination dans le traitement météo. Aucune germination n'a été observée sur sol sec. De plus, le taux final de germination est largement supérieur dans le traitement arrosage (64% de germination) comparé à celui des deux autres traitements : 8% pour le traitement météo M et 0% pour le traitement sans apport d'eau S. Dès le premier jour, un taux de germination de 47% est observé sur les pots du traitement MA. Une stabilisation du taux de germination s'observe aux alentours du 12 juin (soit 6 jours après le début des mesures).

La mesure finale montre que les individus germés se sont maintenus au cours de l'expérimentation et qu'il y a eu quelques germinations supplémentaires : on passe de 62% le

16 juin à 64% le 06 aout. Cette tendance ne s’observe pas pour les pots météo, un déclin du nombre d’individus germé est observé, on passe alors de 10% en juin à 8% en aout

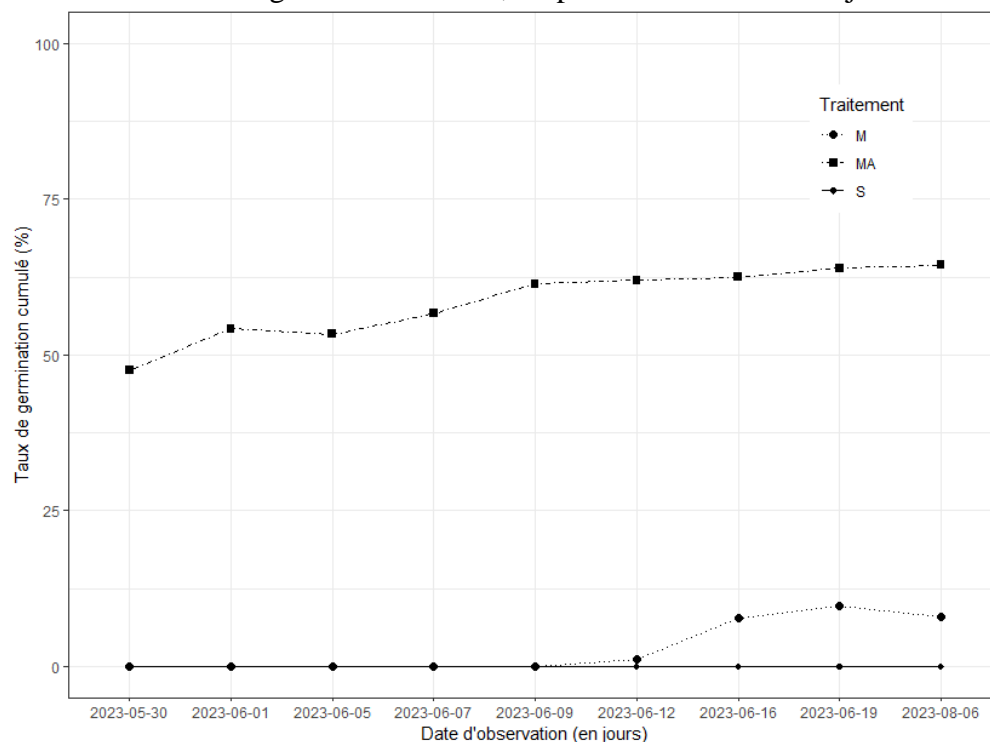


Fig. 4 : Cinétique de germination de la jussie en fonction des traitements arrosage. (Boussou,2023)

MA correspond au traitement où les pots ont été arrosés (■), M correspond au traitement soumis uniquement aux apports d’eau des précipitations (◆), S correspond aux pots qui n’ont pas reçu d’eau au cours de l’expérimentation (●).

Il existe un effet très hautement significatif de l’humidité sur les traits de jussie (test KW : $p < 0.001$, **Tab.4**). Le nombre d’individus final (**Fig.5**), la masse sèche totale (**Fig.6**), aérienne et souterraine et la longueur des ramifications mesurées (**Fig.7**) sont significativement plus élevées dans le cas d’un sol humide arrosé que dans le cas d’un sol alimenté uniquement par l’eau de pluie. Pour la longueur de la ramification on atteint une moyenne de 15.5cm dans les pots où l’humidité du sol est élevée contre seulement 2.71cm dans les pots alimentés par les précipitations. La même tendance s’observe quant au nombre d’individu final. En moyenne, 19 individus ont germé dans les pots du traitement arrosage contre seulement 2 dans les pots météo. Aucun individu n’a été noté sur le sol sec

Tab. 4 : Réponse des traits morphologiques de la jussie au traitement.

Traitement		Nombre d’individus final	Longueur ramification (cm)	Masse sèche aérienne (g)	Masse sèche souterraine (g)	Masse sèche totale (g)
MA	m	19.3 ± 3.06	15.5 ± 2.74	4.61 ± 0.596	3.42 ± 0.528	8.03 ± 0.874
M	m	2.42 ± 1.68	2.71 ± 1.42	0.107 ± 0.08	0.077 ± 0.064	0.183 ± 0.142
S	m	0	0	0	0	0
KW_test	P_val	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

MA correspond au traitement arrosé, M correspond au traitement soumis aux précipitation, S correspond au traitement sans eau. (m) correspond à la moyenne et (σ) à l’écart-type. Les moyennes en gras sont les moyennes les plus hautes.

Effet du traitement arrosage sur le nombre d'individu final

Kruskal-Wallis, $\chi^2(2) = 30.62, p = <0.0001, n = 36$

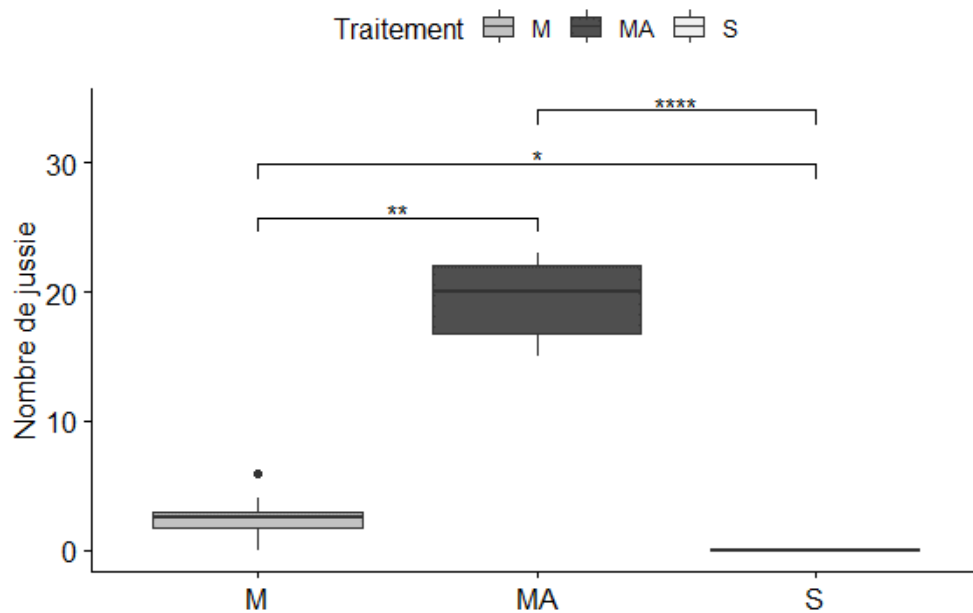


Fig. 5 : Effet du traitement arrosage sur le nombre final de jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn). (Boussou,2023)

Effet du traitement arrosage sur la masse sèche totale

Kruskal-Wallis, $\chi^2(2) = 30.56, p = <0.0001, n = 36$

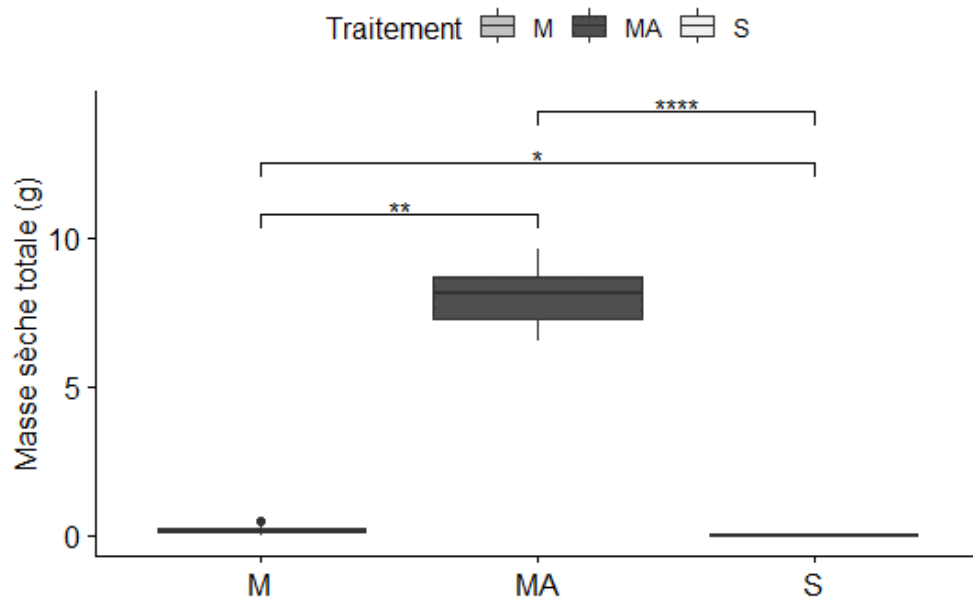


Fig. 6 : Effet du traitement sur la biomasse créée de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn). (Boussou,2023)

Effet du traitement arrosage sur la croissance des jussie

Kruskal-Wallis, $\chi^2(2) = 29.94$, $p = <0.0001$, $n = 36$

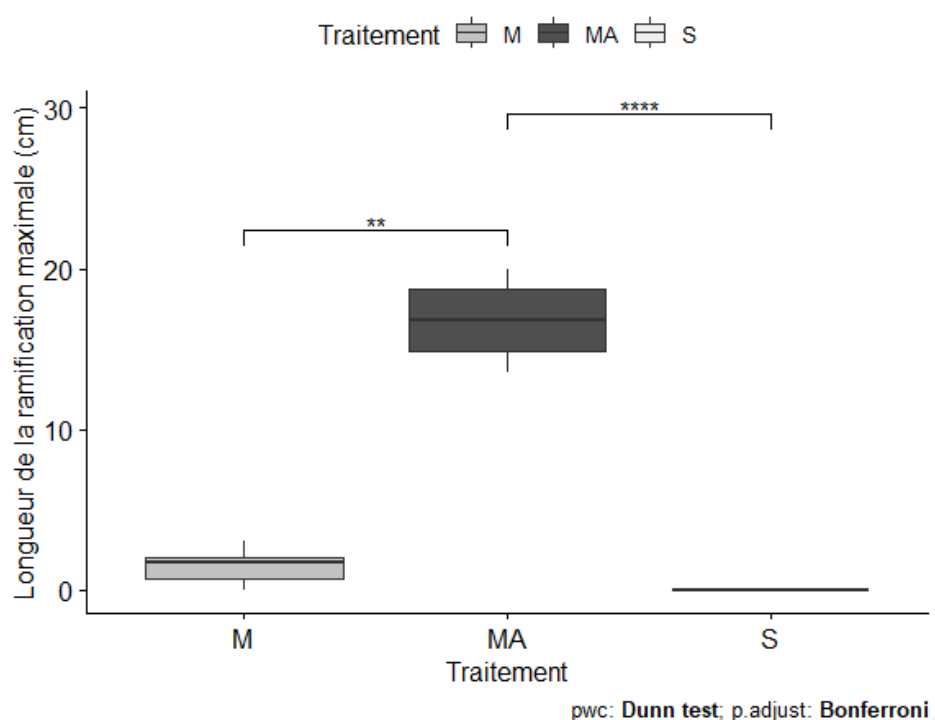


Fig. 7 : Effet du traitement sur la croissance de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn) (Boussou,2023)

Lorsque l'on regarde le taux d'humidité du sol mesurée (**Fig.8**), on constate que le sol du traitement MA est resté à une humidité moyenne de 41% avec un minimum à 31% et maximum d'humidité à 46%. Les germinations ont été observées dès le début. L'humidité du sol de la modalité M a fluctué pendant la période expérimentale, on observe ainsi une moyenne de 19.5% d'humidité avec un minimum à 6% et un maximum à 37%. Les germinations observées sur ce traitement sont apparues au seuil de 30% d'humidité du sol durant 3 jours consécutifs. Le sol de la modalité S n'a pas dépassé les 21.6% excepté au début de l'expérimentation, où les pots ont été mis dans les mêmes conditions initiales d'humidité.

Les pics de forte humidité du sol dans la modalité météo sont corrélés aux précipitations (**Fig.9**, **Fig.10**).

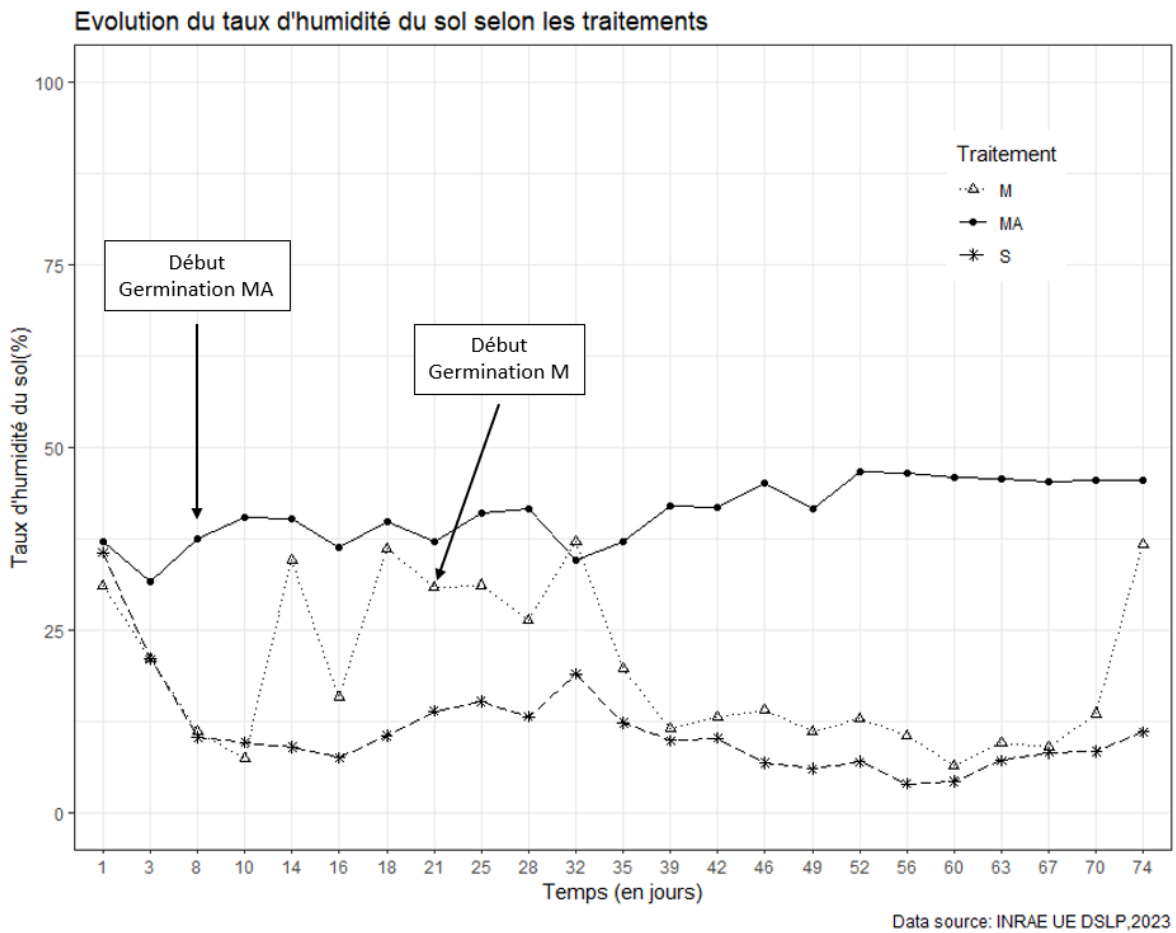


Fig. 8 : Evolution du taux d'humidité dans le sol des différents traitements pendant 74 jours. (Boussou, 2023)

Le traitement MA est représenté par la ligne continue et les points noirs (●). Le traitement M est représenté par la ligne pointillé et les triangles vides (Δ). Le traitement S est représenté par la ligne tiret et les étoiles (*). Les flèches indiquent le début de la germination.

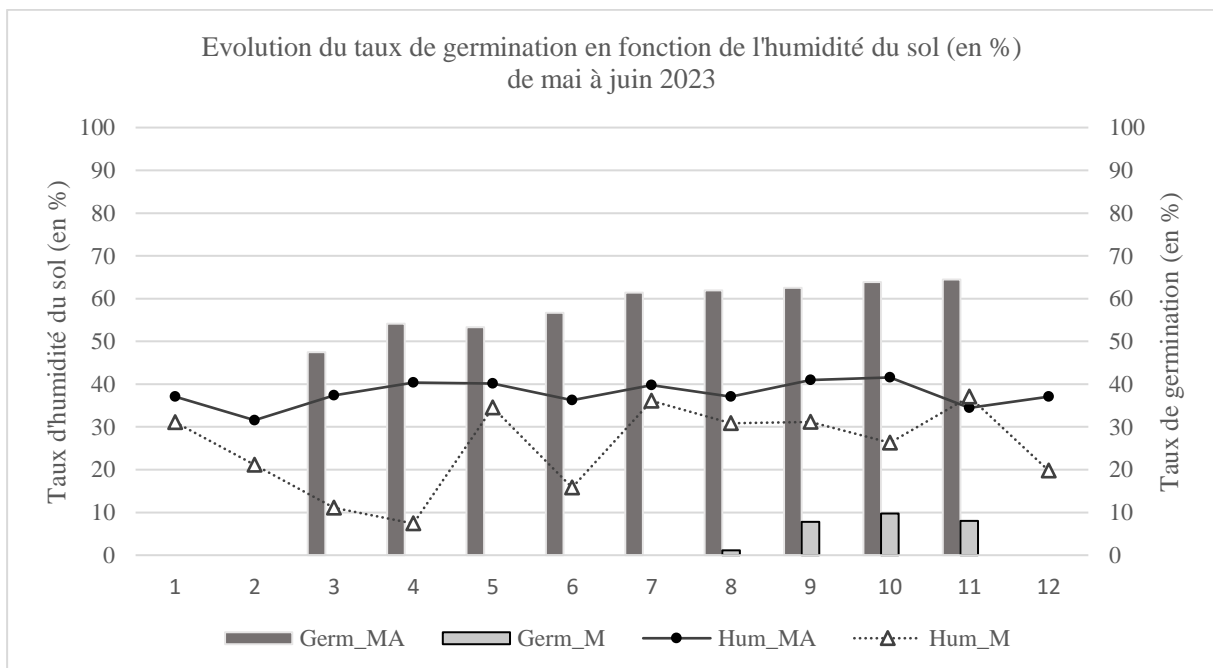


Fig. 9 : Evolution des germinations de jussie en fonction de l'humidité du sol (Boussou, 2023)

Conditions météorologiques de température et de précipitation
Année 2023

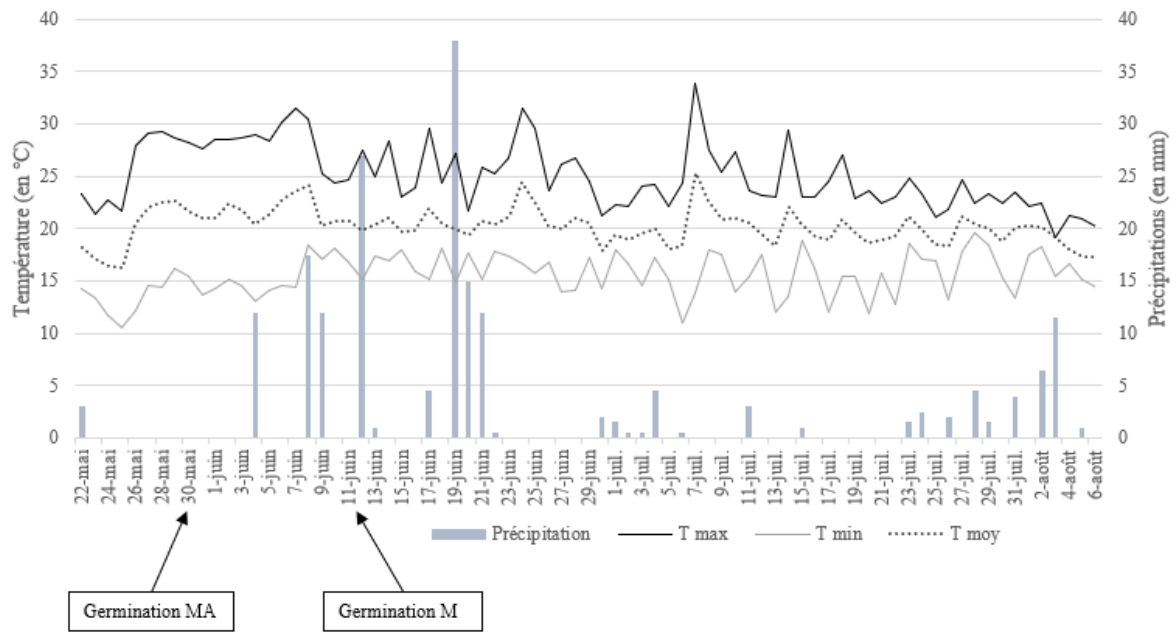


Fig. 10 : Conditions météorologiques de température et de précipitation au cours de l'expérimentation 2023 (Source : Climatik)

Différences phénologiques

Les plantules de jussie qui n'ont pas été arrosées et qui ont seulement reçu l'eau pluie ont donné des individus rabougrés et de petite taille. Après germination, la taille des plantules n'a pas dépassé les 5 cm dans le traitement M. On constate cependant que la croissance des individus a repris à la suite des précipitations.

Expérimentation 2 : Effet de la présence de raygrass sur la germination et la croissance des plantules de jussie.

Changement des traits morphologiques de la jussie en fonction du couvert végétal

La cinétique de germination de la jussie met en évidence un traitement (D2) ayant eu un comportement différent des autres traitements avec un taux de germination supérieur pendant la période de relevés. Les 3 autres traitements (D0, D1, J) ont eu des cinétiques de germination relativement similaires avec un taux de germination final proche de 70%. Seule la modalité D2 a présenté un taux de germination supérieur de l'ordre de 85% (**Fig. 10**)

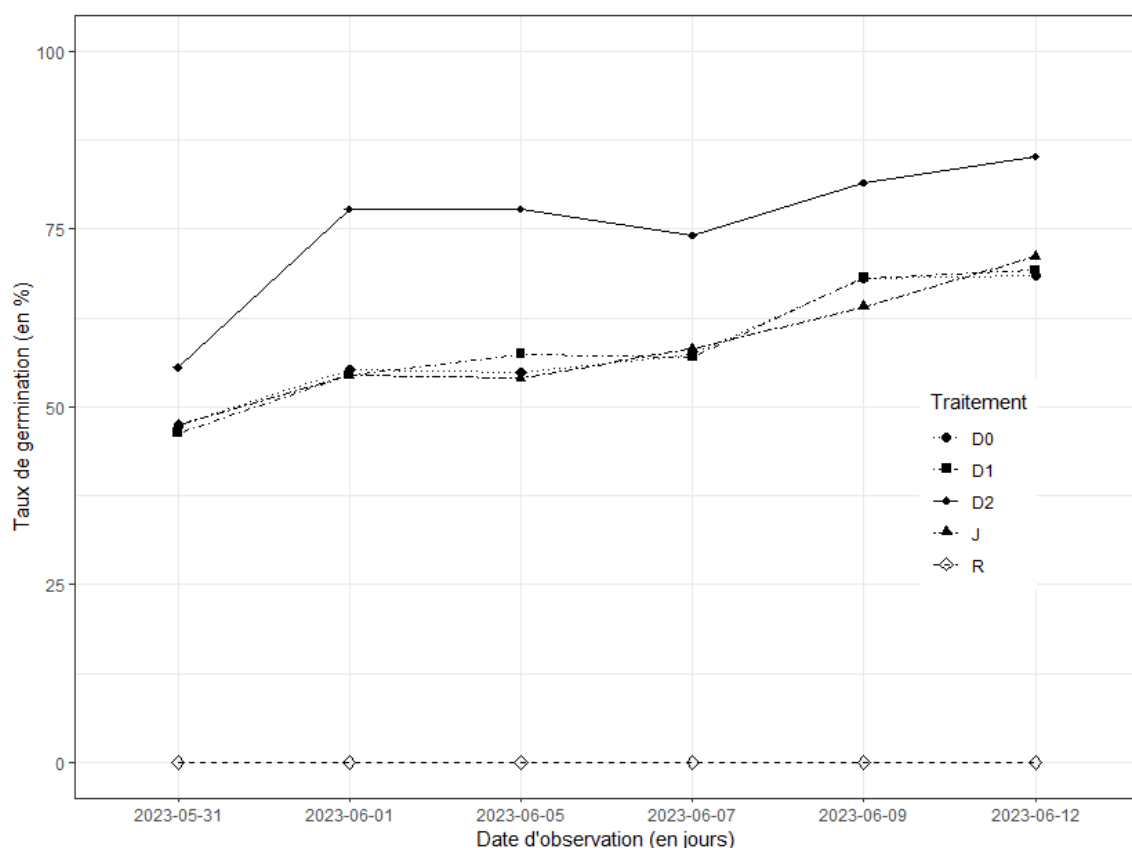


Fig. 11 : Cinétique de germination de la jussie en fonction de la densité de raygrass. (Boussou, 2023)

D0 (●) correspond au traitement avec 30 jussie et 30 raygrass. D1 (■) correspond au traitement (30 jussie et 3 raygrass), D2 (◆) correspond au traitement avec 3 jussie et 30 raygrass. J (▲) correspond au traitement avec uniquement 30 jussie. R (◇) correspond au traitement avec uniquement 30 raygrass

La cinétique de croissance (**Fig.12**) témoigne de différences de croissance observées parmi les 5 traitements. Ainsi les longueurs de ramification des plantules les plus élevées ont été observées en absence de raygrass (traitement J) et lorsque que ce dernier est peu dense (traitement D1). On atteint pour ces deux traitements des longueurs moyennes finales de, respectivement, 15.3 et 10.5cm.

En présence de raygrass à forte densité (traitement D0 et D2), les longueurs de ramifications des plantules de jussie ont été plus petites. C'est particulièrement le cas du traitement D2 (3 jussies, 30 raygrass) qui a présenté les plus petites tailles (6.8cm).

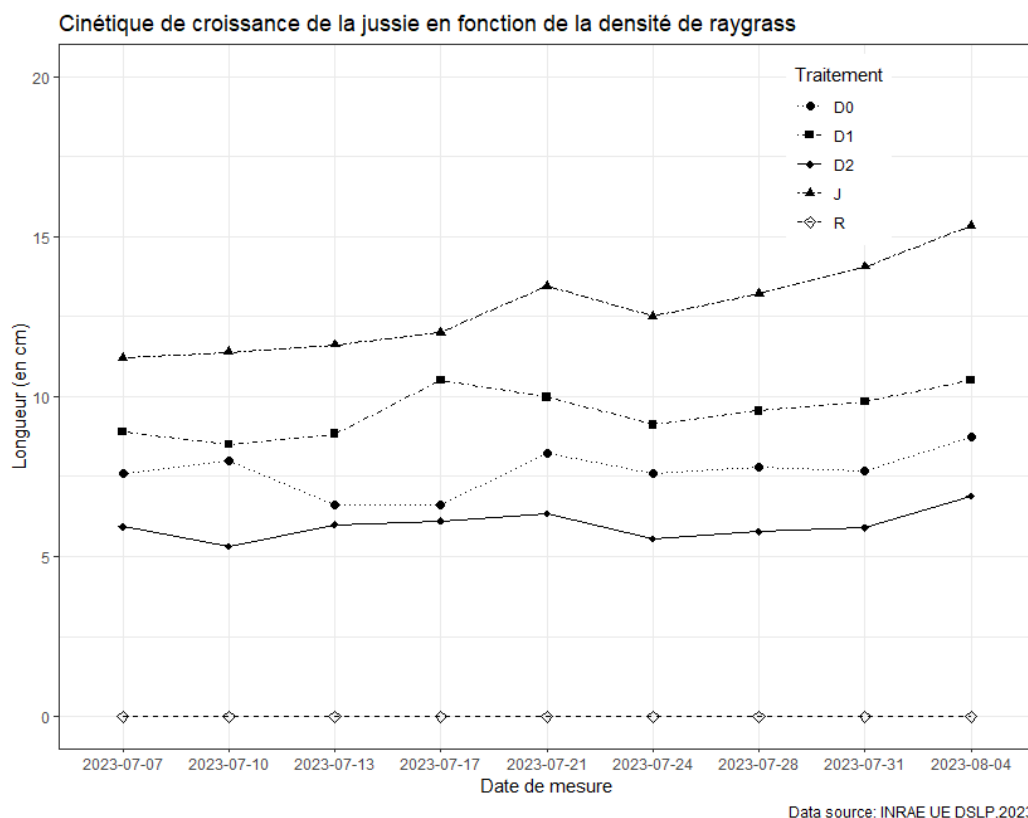


Fig. 12 : Cinétique de la croissance moyenne des jussie en fonction de la densité de raygrass. (Boussou,2023)

D0 (●) correspond au traitement avec 30 jussie et 30 raygrass. D1 (■) correspond au traitement (30 jussie et 3 raygrass), D2 (◆) correspond au traitement avec 3 jussie et 30 raygrass. J (▲) correspond au traitement avec uniquement 30 jussie. R (◇) correspond au traitement avec uniquement 30 raygrass

Il existe un effet significatif du traitement sur les traits morphologiques de la jussie. Les longueurs mesurées (Fig.) ainsi que les masses sèches (aérienne, souterraines et totales) (Fig.) sont significativement plus élevées dans le traitement où il n’y a pas de compétition avec le raygrass (J) que dans les traitements avec du raygrass même à faible densité (D0, D1 et D2). Ainsi, on observe des longueurs de ramification de 14.8cm en moyenne dans le traitement J contre des longueur de 11.4 cm, 7.94cm, 4.28 cm en moyenne pour les traitements D1, D0 et D2. La même tendance est observée pour la masse sèche totale, la moyenne dans le traitement J (9.19g) est significativement plus élevée que dans les traitements D0 (2 g), D1 (4.5 g) et D2 (0.9 g). Seul le nombre d’individu final est très similaire pour les traitements J, D0 et D1 (~22 individus). (**Tab.4**)

Tab. 5 : Effet de la présence ou non de raygrass sur la croissance des plantules de jussie

Traitement	Nombre d’individu final	Longueur ramification (en cm)	Longueur ramification max (en cm)	Masse sèche aérienne (en g)	Masse sèche souterraine (en g)	Masse sèche totale (en g)
J	22.3 ± 3.87	14.7 ± 3.63	14.8 ± 1.46	4.62 ± 0.624	4.57 ± 0.663	9.19 ± 0.659
D0	23.2 ± 5.67	8 ± 1.35	7.94 ± 1.42	1.31 ± 0.434	0.711 ± 0.252	2.02 ± 0.659
D1	22.7 ± 3	10.8 ± 1.89	11.4 ± 2.14	2.66 ± 0.745	1.84 ± 0.566	4.5 ± 1.24
D2	2.44 ± 1.01	6.78 ± 2.35	4.28 ± 1.87	0.888 ± 1.28	0.064 ± 0.053	0.952 ± 1.32
R	0	0	0	0	0	0

Effet du couvert végétal sur le nombre de jussie final

Kruskal-Wallis, $\chi^2(4) = 34.2, p = <0.0001, n = 45$

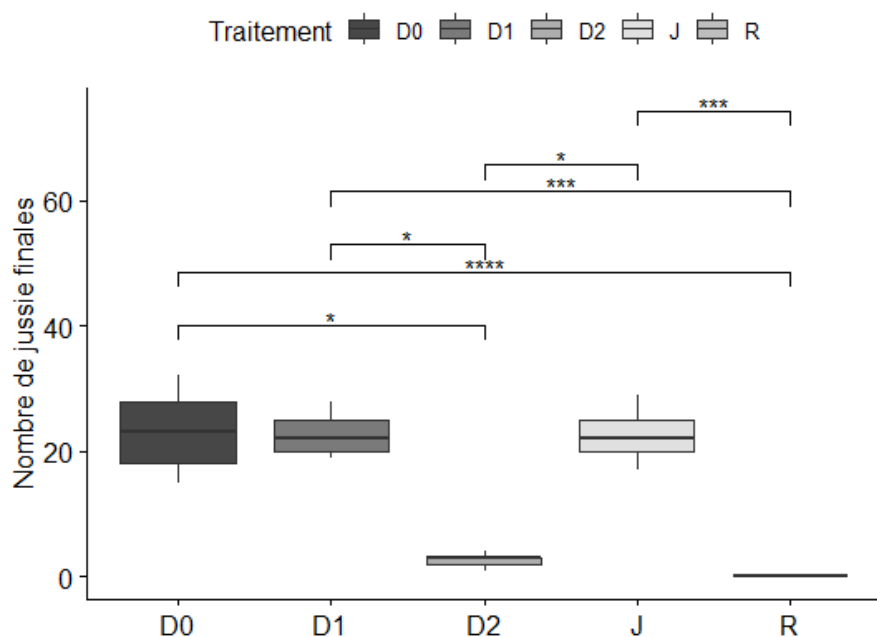


Fig. 13 : Effet du traitement densité sur le nombre d'individu final. Comparaison par paire (Test de Dunn) (Boussou,2023)

Effet du couvert végétal sur la croissance de la jussie

Kruskal-Wallis, $\chi^2(4) = 34.2, p = <0.0001, n = 45$

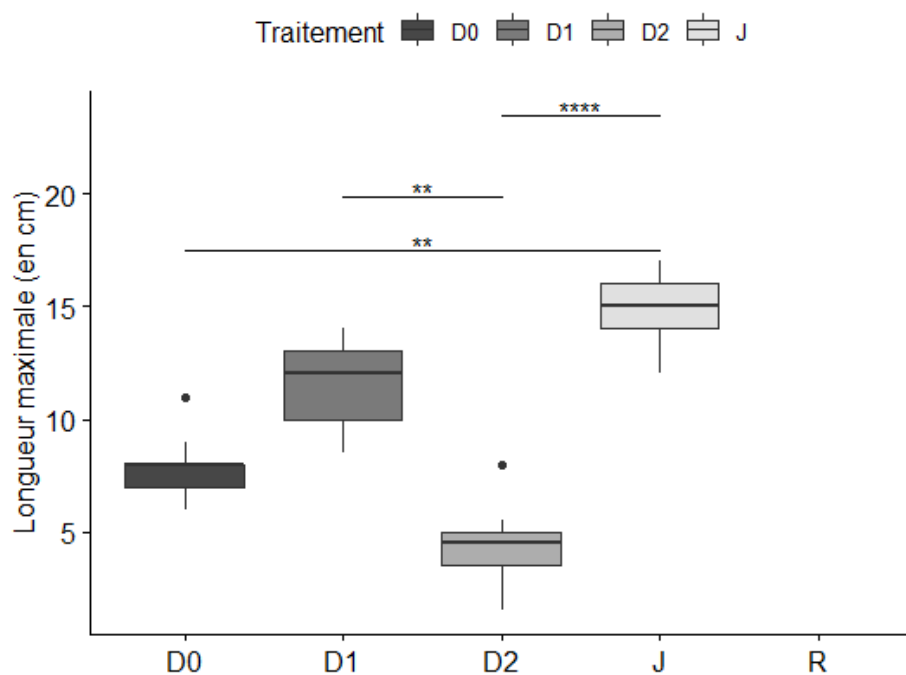


Fig. 14: Effet du traitement sur la croissance de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn) (Boussou,2023)

Effet du couvert végétal sur la masse sèche totale

Kruskal-Wallis, $\chi^2(4) = 34.2, p = <0.0001, n = 45$

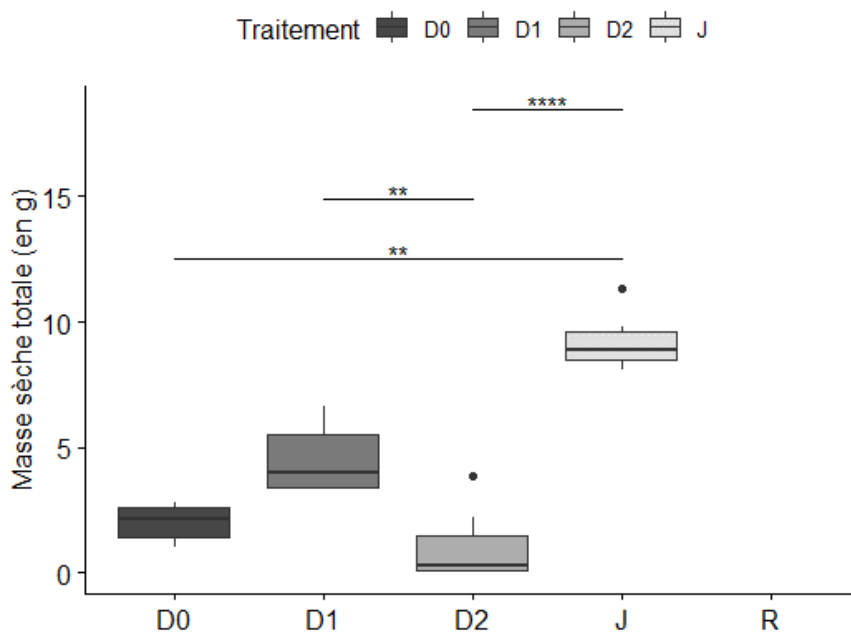


Fig. 15 : Effet du traitement densité de raygrass sur la masse sèche totale de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn) (Boussou,2023)

Différences phénologiques :

Concernant les différences phénologiques des jussie dans les différents traitements, on constate que le stade phénologique le plus évolué est observé dans les pots témoins avec de la jussie seule. Les ramifications y sont les plus longues. Les pots à densité D0 et D1 ont quant à eux atteint un stade phénologique similaire bien que les individus aient moins cru durant la période expérimentale que dans le témoin. Enfin, les individus présents dans le traitement D2 ont eu un développement ralenti, ils sont restés relativement petits et rabougris.

Autres expérimentations :

Expérimentation 3 : Expression de la banque graine des boues de curage :

Sur les 12 pots non stérilisés et arrosés, nous avons pu observer une moyenne de 3 jussie avec un minimum de 1 jussie et un maximum de 7 jussie germées dans un pot. Ces jussies ont atteint un stage phénologique plus développé que dans l'expérimentation avec le raygrass. Ceci s'explique en partie par une compétition dans le pot moins élevée et donc un accès aux ressources plus important.

Suivi de terrain :

6 plantules de jussie ont été observées sur les boues de curage. 5 sur la parcelle agricole de M. Bessagnet à Moragne. Cette parcelle n'a pas été travaillée mais a été semée. 1 individu a été observé sur la parcelle de M. Vechambre à Saint-Hippolyte. La parcelle a été travaillée et semée. Les deux parcelles sur lesquelles ont été observés les individus correspondent à des boues de curage datant de 2022. Les résultats obtenus ici sont des résultats préliminaires car le suivi des boues de curage in situ a démarré cette année.

Discussion

Expérimentation 1 : Germination et croissance des plantules de jussie en fonction du degré d'humidité

Nos résultats ont mis en évidence un meilleur taux de germination et une croissance plus vigoureuse des plantules de jussie dans le sol arrosé. Dans le cas d'une année très sèche avec des précipitations faibles, *L. peploides* a du mal à germer, et à croître ce qui confirme notre première hypothèse. Cependant, lorsque les précipitations sont abondantes (cumul précipitations de 41.5 mm d'eau à partir du 12/06), les graines ont germé (traitement M) même sur sol sec. Il semblerait ainsi qu'à partir d'une humidité dans les sols de 30%, les graines de jussies puissent germer. La présence de graines de jussie sur un sol agricole nu, peut donc présenter des risques.

Aujourd'hui, la jussie terrestre est majoritairement observée dans des écosystèmes humides (berges de cours d'eau, prairies humides, mares temporaires). Cependant, Khana et al (2018) ont mis en évidence que malgré leur capacité à germer sur des sols humides, les jussies terrestres ont une croissance moins rapide qu'en milieu aquatique. D'un autre côté, dans leur étude sur la capacité de germination et de croissance des plantules de jussie, Gillard et al (2017) ont démontré que la température atmosphérique et du sol jouent un rôle sur la capacité de germination des graines mais aussi sur la survie des plantules. Ainsi, bien que les graines germent plus rapidement à des températures plus élevées, le taux de survie des plantules après germination est relativement faible.

Nos résultats confirment que *L. peploides* produit des fruits fertiles capables de germer, cependant, le développement de la plantule n'est pas assuré sans apport d'eau. .

Expérimentation 2 : Effet de la présence de raygrass sur la germination et la croissance des plantules de jussie.

Nos résultats ont montré qu'en présence de raygrass en forte densité, les graines de jussie n'ont pas réussi à se développer de façon optimale. Il semblerait que le couvert végétal dense de raygrass a joué sur la capacité de la jussie à accéder à la ressource lumineuse. Les individus finaux n'ont pas réussi à dépasser un stade végétatif chétif. La compétition racinaire a aussi joué son rôle pour limiter la croissance de la jussie, le raygrass ayant développé une masse racinaire plus importante que la jussie. Dans le cas de figure où jussie et raygrass seraient présents à densité égale, la jussie réussirait à germer mais sa croissance serait moins optimale que lorsqu'elle pousse sans compétition. Ainsi la mise en place de raygrass permettrait de limiter la croissance de la jussie et ainsi d'éviter une invasion de la forme terrestre sur les boues de curage. Notre seconde hypothèse est confirmée.

Cependant, les interactions entre les espèces ne sont pas systématiques de la compétition. C'est qu'on mit en évidence (Thiébaud et al., 2019). Leur étude sur l'interaction entre la jussie et la menthe aquatique a montré une facilitation de la menthe aquatique envers la jussie. Les résultats ont ainsi montré que la jussie se développait mieux en présence de menthe aquatique à faible et à forte densité. Cette étude pointe du doigt les relations positives existants. Bien que ces résultats soient spécifiques à une espèce et un contexte particulier, il semble important d'intégrer que des interactions bénéfiques peuvent aussi avoir lieu entre des espèces indigènes

avec des exotiques envahissantes. Le raygrass semble ainsi limiter la croissance de la jussie, cependant, on ne peut pas appliquer ces observations à tous les types de couverts.

La présence de germination de jussie dans des pots où seul du raygrass a été semé a mis en évidence un défaut de stérilisation. Les conditions de stérilisation mentionnées dans la littérature ne sont donc pas adaptées à la stérilisation de graines de jussie contenue dans des boues. La boue a pu avoir un effet protecteur des graines leur permettant de résister à la chaleur.

Autres expérimentations :

Expression de la banque de graine des boues de curage

La présence de jussie dans les boues de curage a été confirmée par les germinations observées. Le nombre faible d'individu présent permet d'ajuster les densités réelles de jussie dans les boues. La réalité se rapprocherait donc du traitement D0. Cependant une hétérogénéité dans les pots montre qu'à certains endroits, on peut retrouver une concentration importante de graines de jussie. La jussie produisant 10000 à 14 000 graines au m² (Dutarte, 2020). De plus au cours des mesures finales, des capsules ont été retrouvées enfouies dans les boues de curage (cf photo).

Concernant le développement des plantules, une croissance plus rapide a été observée par rapport aux boues semées de graines de jussie d'un autre site. Ceci s'explique notamment par une compétition interspécifique moins importante mais aussi, peut-être, par un effet population. La population contenue dans les boues de curage étant différente de celle semée. En effet, les travaux en cours ont mis en évidence un taux de germination très variable des populations de jussie de *L. peploides* du marais (White, 2022).

Suivi de terrain :

Nos résultats ont montré que la jussie arrivait, en condition réelle, à pousser sur les boues de curage. Le faible taux d'observations et de répétitions dans le temps des suivis terrain ne permet pas de conclure sur le rôle que peuvent jouer les pratiques de gestion des boues sur la capacité de croissance de la jussie.

Un deuxième passage pour voir l'état des individus identifiés lors du premier passage aurait permis de rendre compte de la capacité de survie de la jussie sur les boues de curage. Cependant ce passage est prévu en automne.

Il est cependant possible d'avancer que les boues de curage contiennent bel et bien des graines de jussie. Le risque de reprise des graines de jussie est donc réel. Cependant, les germinations n'ont été observées que sur des boues jeunes (le curage datant 2022). On peut se demander si le risque n'est pas concentré sur les premières années.

Plusieurs actions pourraient permettre de limiter le risque de reprise. D'une part la période de curage devrait autant que possible être réalisée avant la période de fructification. En effet si des jussies sont présentes dans le fossé au cours du curage, elles seront arrachées en même. Si ces dernières sont en fruit, cela rajouterait des graines supplémentaires à celles déjà contenues dans les boues. La longévité des graines contenue dans les boues n'est pas connue aujourd'hui.

Conclusion

L'épandage direct ou indirect de jussie sur les sols agricoles présente un risque de reprise de jussie terrestre dépendant des conditions climatiques et des pratiques de gestion mises en place (travail des boues, couvert végétal, choix de la zone d'épandage). Certaines pratiques semblent pouvoir limiter la forme de jussie terrestre. Ainsi, dans le cas d'épandage de jussie sur parcelle agricole, un épandage sur des terres peu humides comme les terres de coteau pour le marais charentais semble limiter le taux de reprise.

Dans le cas d'épandage de boues de curage susceptibles de contenir des graines de jussie, la mise en place d'un couvert végétal par semi semble freiner le développement de la plante.

L'étude ouvre de nouvelles perspectives de recherche. D'une part, les protocoles expérimentaux mériteraient une augmentation du nombre de répétition afin d'obtenir des résultats plus robustes. La caractérisation des seuils d'humidité déclenchant la germination des graines de jussie et nécessaires à la survie des plantules de jussie pourrait être envisagée (par exemple, la mise en place d'une expérimentation basée sur un gradient d'humidité du sol).

Enfin, en ce qui concerne les boues de curage, la présence de graines de jussie capables de germer dans les boues présente un risque avéré de reprise. Il semblerait que la mise en compétition de la jussie avec une autre espèce soit une voie possible pour inhiber la croissance de l'espèce. Cependant, la compétition interspécifique n'est pas systématique, la réalisation d'expérimentations avec d'autres couverts végétaux pourrait être explorée.

Le volet d'observation et de relevés terrain in situ mériterait d'être poursuivi. Il serait intéressant de pouvoir caractériser plus précisément les parcelles notamment leur mode de gestion agricole (semi, fauche, pâturage) et de coupler avec des données milieux telles que les données climatiques, ou encore l'humidité du sol au niveau des individus. Une déclinaison de ce protocole à un panel diversifié de boues ainsi que des observations plus régulières

Notre étude s'est focalisée uniquement sur une voie alternative de destruction de la jussie par épandage sur des terres agricoles, cependant, la mise en place d'un compostage de proximité pourrait être autre voie potentiellement moins risquée qu'il serait intéressant d'étudier.

Sources :

Articles scientifiques :

CHARVOLIN Florian, GRILLAS Patrick, MARION Loïc, MILLON Alexandre, MOUTOU François, TANCOIGNE Elise, TREILLARD Aline, (2018), « Les espèces exotiques envahissantes et leur gestion », LPO, Conseil scientifique et technique, 58p, rapport.

CARPENTER Stephen R., ADAM Michael S., 1977, "The macrophyte tissue nutrient pool of a hard water eutrophic lake: Implications for macrophyte harvesting", *Aquatic Botany*, Volume 3, Pages 239-255, (ISSN 0304-3770), [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(77\)90026-2](https://doi.org/10.1016/0304-3770(77)90026-2), Article.

CATFORD, Jane A., JANSSON, Roland, et NILSSON, Christer.2009, "Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework". *Diversity and distributions* vol. 15, no 1, p. 22-40.

DANDELLOT, 2004, « Les ludwigia spp. Invasives du sud de la France : Historique, biosystématique, Biologie et écologie », *Ecologie, Hydraubiologie*, Université de droit, d'économie et des sciences d'aix-marseille, p.218, <http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2017/02/THESE-DANDELLOT.pdf> Thesis.

DELBART Emmanuel, MAHY Grégory, MONTY Arnaud, 2012, "Efficacité des méthodes de lutte contre le développement de cinq espèces de plantes invasives amphibies : *Crassula helmsii*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Ludwigia grandiflora*, *Ludwigia peploides* et *Myriophyllum aquaticum* (synthèse bibliographique) », Univ. Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. Unité Paysage et Biodiversité, 16p., <https://orbi.uliege.be/handle/2268/145695> , Synthesis.

DUTARTRE, A., HAURY, J., et PLANTY-TABACCHI, A. M. Introductions de macrophytes aquatiques et riverains dans les hydrosystèmes français métropolitains : essai de bilan. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 1997, no 344-345, p. 407-426.

DUTARTRE Alain, TREMEA L., 1990, « Contrôle mécanique des plantes aquatiques. 14ème conférence du COLUMA journées internationales d'études sur la lutte contre les mauvaises herbes, Versailles, 1990 », France, p.275-282, (hal-02575183), Report.

DUTARTRE.A, 2002, « Panorama des modes de gestion des plantes aquatiques: nuisances, usages, techniques et risques induits. Ingénieries eau-agriculture-territoires », 30, p. 29 - p.42, (ffhal-00464690f), Report.

DUTARTRE, M. A., CEMAGREF, F., Secretariat, E. P. P. O., & Brunel, M. S. (2011). Pest risk analysis for: *Ludwigia grandiflora*. *EPPO*.

DUTARTRE Alain (Expert indépendant, ex-Irstea), SARAT Emmanuelle (Comité français de l'UICN), GERVAIS Hélène, VIAL Dorine (Conservatoire d'espaces naturels de la région Centre), 2015, « Technique de gestion des espèces exotiques envahissantes en milieu aquatique », guide, p.77, consulté le 22/08/2023 sur <https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/EEE-vol1-chp5.pdf>

GESLIN Julien, MAGNANON Sylvie, LACROIX Pascal, (2011), « La question de l'indigénat des plantes de Basse-Normandie, Bretagne et Pays de la Loire : Définitions et critères à prendre en compte pour l'attribution d'un « statut d'indigénat », Version 2, rapport, p.19, consulté le 23/08/2023 sur https://www.cbnbrest.fr/site/pdf/Doc_indigenat.pdf

GILLARD M, GREWELL B. J., DELEU C., THIÉBAUT G., 2017. Climate warming and water primroses: germination responses from two invaded ranges. *Aquatic Botany*, 136, 155-163

GILLARD M, GREWELL B.J., FUTRELL C.J, DELEU C, THIÉBAUT G. 2017. Germination and Seedling Growth of Water Primroses: A Cross Experiment between Two Invaded Ranges with Contrasting Climates- *Frontiers in Plant Science*, *Frontiers*, 8, 1677

GILLARD M., THIÉBAUT G, DELEU C, LEROY B., 2017. Present and future distribution of three aquatic plant taxa across the world: decrease in native and increase in invasive ranges. *Biological Invasion* 19 (7), pp.2159-2170

GILLARD M., DRENOVSKY R. E, THIÉBAUT G., TARAYRE M., FUTRELL, C.J., GREWELL, B.J., 2020. Seed source regions drive fitness differences in invasive macrophytes. *Journal of American Botany* 107(5): 749–760.doi:10.1002/ajb2.1475

- GILLARD M, J.-P. CAUDAL J-P, DELEU C, THIÉBAUT G, 2021. Heterogenous Impact of Water Warming on Exotic and Native Submerged and Emergent Plants in Outdoor Mesocosms. *Plants*, 10 (7), pp.1324 <https://doi.org/10.3390/plants10071324>
- KHANNA Shruti , Maria SANTOS J, D. BOYER Jennifer, D.SHAPIRO Kristen , BELLVERT Joaquim , USTIN Susan L. , 2018, "Water primrose invasion changes successional pathways in an estuarine ecosystem", <https://doi.org/10.1002/ecs2.2418>, Services SFX pour INRAE
- MENOZZI Marie-Jo, (2010), « Comment catégoriser les espèces exotiques envahissantes », *Études rurales* [En ligne], 185 | 2010, mis en ligne le 13 août 2012, consulté le 27 juin 2023. URL : <http://journals.openedition.org/etudesrurales/9043> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/etudesrurales.9043>
- PESTIE J.P, (2022), « SYNTHÈSE DE LA LUTTE CONTRE LA JUSSIE », rapport, p.11, consulté le 06/07/2023 sur <https://www.entendedescanaux.org/wp-content/uploads/2022/04/A233-JPP-JUSSIE.pdf>
- PORTILLO LEMUS Luis Octavio, 2021, « Système de reproduction, polyploïdie et diversité génétique des populations invasives de *Ludwigia grandiflora* subsp *hexapetala* en France. *Sciences agricoles* ». Agrocampus Ouest, 2021. Français. [NNT : 2021NSARA088](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-04161104). [tel-04161104](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-04161104)
- REBILLARD J.P., DUTARTRE Alain, FARE A., 2002, « Guide de gestion des macrophytes aquatiques en France. *11ème symposium international EWRS sur la gestion des plantes aquatiques, Moliets et Maû* », France. pp.303-306. [hal-02580676](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02580676). Guide.
- ROLON, ANA S.; LACERDA, Taís; MALTCHIK, Leonardo* & GUADAGNIN, Demétrio L., (2008), "Richness and composition of macrophyte assemblages in southern Brazilian wetlands", *Journal of Vegetation Science* 19: 221-228, doi: 10.3170/2008-8-18359, consulté le 27/06/2023 sur <https://dl.wqtxts1xzle7.cloudfront.net>
- RUAUX Brigitte, GREULICH Sabine, HAURY Jacques, BERTON Jean-Pierre, 2009, « Sexual reproduction of two alien invasive *Ludwigia* (Onagraceae) on the middle Loire River, France », *Aquatic Botany*, Volume 90, Issue 2, Pages 143-148, (ISSN 0304-3770), <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.08.003>, Report.
- THIÉBAUT, G., (2007), "Invasion success of non-indigenous aquatic and semi-aquatic plants in their native and introduced ranges. A comparison between their invasiveness in North America and in France". *Biol Invasions* 9, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10530-006-9000-1>
- THOUVENAUT, 2012, "Stratégies de réponse de l'espèce invasive *Ludwigia grandiflora* aux contraintes environnementales", Thesis.
- THOUVENOT L, PUECH C, MARTINEZ L., HAURY J, THIÉBAUT G. 2013a. Strategies of the invasive macrophyte *Ludwigia grandiflora* in its introduced range: competition, facilitation or coexistence with native and exotic species? *Aquatic Botany*, 107, 8-13
- THOUVENOT L, HAURY J, THIÉBAUT G. 2013b. Seasonal plasticity of *Ludwigia grandiflora* under light and water depth gradients: an outdoor mesocosm experiment. *Flora*, 208, 430-437.
- THOUVENOT L, HAURY J, THIÉBAUT G. 2013c. A success story: water primrose, aquatic plant pests *Aquatic Conservation* 23 (5), 790-803
- THOUVENOT L, DELEU C, BERARDOCCO S, HAURY J, THIÉBAUT G. 2015 Characterisation of the salt stress vulnerability of three invasive freshwater plant species using a metabolic profiling approach. *Journal of Plant Physiology*. 175, 113-121.
- THIÉBAUT, G., ROLLAND, T., ROBACH, F., *et al.* Quelques conséquences de l'introduction de deux espèces de macrophytes, *Elodea canadensis* Michaux et *Elodea nuttallii* St. John, dans les écosystèmes aquatiques continentaux : exemple de la plaine d'Alsace et des Vosges du Nord (Nord-Est de la France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 1997, no 344-345, p. 441-452.
- THIEBAUT G., TARAYRE M., JAMBON O., LE BRIS N., COLINET H, RENAULT D,** 2021. Variation of thermal plasticity for functional traits between populations of an invasive aquatic plant from two climatic regions. *Hydrobiologia*, 848, pp.2077-2091

WHITE Hugo, 2022, "Temperature effect on germination and growth capacity of different populations of an invasive species: *Ludwigia peploides*", Master 1, IMABEE, Université Rennes 1,.

Sites:

CCEAU,2(013),site web, consulté le 06/07/2023 sur https://cceau.fr/invasions_biological/plantes_invasives/ludwigia_grandiflora/

Centre de ressources EEE., (2020), « *Carpobrotus edulis* ». Base d'informations sur les invasions biologiques. Centre de ressources Espèces exotiques envahissantes. UICN France et Office français de la biodiversité, page internet, consulté le 26/06/2023 sur <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/espece/carpobrotus-edulis/>

CDR EEE. (2017). « *Azolla filliculoides* ». Base d'information sur les invasions biologiques en milieux aquatiques. Centre de ressources Espèces exotiques envahissantes. UICN France et Office français de la biodiversité, page internet, consulté le 26/06/2023 sur <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/espece/azolla-filliculoides/>

CBNB, 2008, La jussie, fiche technique, 6p, consulté le 21/04/2023 sur <https://www.cbnbrest.fr/site/pdf/jussie.pdf>

LE GALL, (2021), « La vie sexuelle d'une espèce à reproduction asexuée. L'exemple de la jussie, une plante aquatique invasive » *Soumis par Alain-Herve Le Gall le jeu 15/04/2021*, <https://osur.univ-rennes.fr/actualites/la-vie-sexuelle-dune-espece-reproduction-asexuee-lexemple-de-la-jussie-une-plante>

ONB, (2022), « Espèces exotiques envahissantes : Comment évolue la situation des espèces exotiques envahissantes ? », page internet, consulté le 26/06/2023 sur <https://naturefrance.fr/especies-exotiques-envahissantes>

Mikulyuk Alison, 2009, "Ludwigia peploides, water primrose", CABI digital library, consulté le 29/12/2022 sur <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.31673>, website.

USACE-ERDC, 2009. Aquatic Plant Information System (APIS). Aquatic Plant Information System (APIS). Vicksburg, Mississippi, USA: United States Army Corps of Engineers - Engineer Research and Development Center, unpaginated., consulté le 27/06/2023 sur <https://gd.eppo.int/taxon/LUDPE/documents>

ZOTOS A, Sarika M, Lucas E, Dimopoulos P (2006) *Ludwigia peploides* subsp. *montevidensis*, a new alien taxon for the flora of Greece and the Balkans. *Journal of Biological Research* **5**, 71-78.

Textes réglementaires :

Journal officiel de l'Union Européenne, 2016, Règlement d'exécution (UE) 2016/1141 de la commission du 13 Juillet 2016 adoptant une liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union conformément au règlement (UE) n°1143/2014 du Parlement européen et du Conseil. Consulté le 23/08/2023 sur <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1141>

LegiFrance, 2007, « Arrêté du 2 mai 2007 interdisant la commercialisation, l'utilisation et l'introduction dans le milieu naturel de *Ludwigia grandiflora* et *Ludwigia peploides* », NOR : DEVN0753883A, ELI : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2007/5/2/DEVN0753883A/jo/texte> JORF n°114 du 17 Mai 2007, Texte n° 157, Regulatory text.

MTES, (2018), « Note ministérielle du 02 Novembre 2018 relative à la mise en œuvre des opérations de lutte contre les EEE », Note, p.22, consulté le 06/07/2023 sur http://www.especies-exotiques-envahissantes.fr/wp-content/uploads/2018/11/mtes_181102_note-technique-operations-de-lutte-eee-signe.pdf

Sénat, Journal officiel de la république française, 2022, p.5188, consulté le 22/08/2023 sur https://www.senat.fr/questions/jopdf/2022/2022-10-20_seq_20220041_0001_p000.pdf

Annexes :

Annexe 1 : Analyse de la terre de groie de Saint Hippolyte (Larca 2023)



Laboratoire agréé par le Ministère français de l'Agriculture. Agréments 1, 2, 3, 4 et 5. Laboratoire membre du GEMAS.

BULLETIN DE RESULTATS – ANALYSES DE TERRE

Réf. N° 2023.014.036 (23-6455)

N° dossier : 16242

Date d'édition : 12/06/2023

Demandeur :
INRAE
147 RUE DE L UNIVERSITE
75007 PARIS

Etablissement :
INRAE ST LAURENT DE LA PREE
545 RUE BOIS MACHE
17450 ST LAURENT DE LA PREE

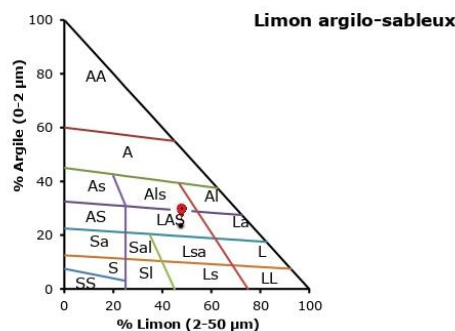
Parcelle :
Identifiant Mes P@rcelles :
N° ilot : / Nom parcelle : 52-23
Surface en ha :
Commune : ST HIPPOLYTE
Type de sol : Non renseigné
Utilisation : Grande culture
Culture en place : Non renseigné
Etat d'assainissement du sol : Non renseigné
Profondeur du sol (cm) : Non renseigné

Echantillon :
Date de prélèvement : 22/03/2023
Date d'arrivée : 15/05/2023
Nom du préleveur :
Profondeur de prélèvement (cm) : SOL -
Cailloux (%) : Manquant
Coordonnées GPS :
Latitude N/S (Y) :
Longitude E/O (X) :

RESULTATS SUR TERRE FINE (< 2 mm)

ETAT PHYSIQUE :

Granulométrie	En g/kg	En %
Argile (< 2 µm) :	235	23.5
Limon fin (2 à 20 µm) :	195	19.5
Limon grossier (20 à 50 µm) :	281	28.1
Sable fin (50 à 200 µm) :	178	17.8
Détail Sable fin (50-100 µm)		
Détail Sable fin (100-200 µm)		
Sable grossier (200 à 2000 µm) :	111	11.1
Détail Sable grossier (200 à 250 µm)		
Détail Sable grossier (250 à 500 µm)		
Détail Sable grossier (500 à 1000 µm)		
Détail Sable grossier (1000 à 2000 µm)		



Indice de battance calculé : **0.96**

Triangle GEPPA 17 classes

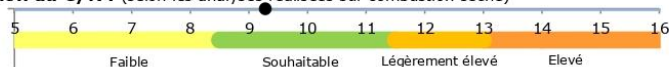
Texture du sol : Limon argilo-sableux. Terres fines argilo-limoneuses. Sol non battant.

STATUT ORGANIQUE :

Paramètre	Combustion sèche			C/N
	Carbone organique	Matière organique	Azote total	
Echantillon	16.7	28.7	1.80	9.3
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	/
TS	15.3	26.3		8.5
	20.3	35.0		11.5

TS : Teneurs souhaitables minimales et maximales en fonction du pH ou de la CEC ou valeurs fixes.

Représentation du C/N : (selon les analyses réalisées sur combustion sèche)



MO satisfaisante et le rapport C/N est souhaitable. Conditions favorables à une activité biologique fonctionnelle.

STATUT ACIDO-BASIQUE :

Répartition en %



Teneur en cations
Votre sol

138 méq/kg Ca++
8.9 méq/kg Mg++
3.4 méq/kg K+
1.2 méq/kg Na+
< 0.01 méq/kg H+

Sur la CEC
Votre sol

99.1% Ca++/CEC
6.4% Mg++/CEC
2.4% K+/CEC
0.9% Na+/CEC
< 0.01% H+/CEC

Optimal

65% à 85%
6 % à 12%
2 % à 5%
<1%
10 à 26%

Paramètre	pH ¹	pH ¹	Δ pH	Calcaire total	Calcaire actif	CEC Metson	CaO éch.	Ca éch. /CEC M	Taux de saturation
Calcul	H ₂ O	KCl							
Echantillon	6.8	5.8	1	/	pnd*	139	3.9	99	109
Unité	/	/	/	g/kg		még/kg	g/kg	%	%
TS	6.5	/	/	/	/	/	2.7		
	7.3	/	/	/	/	/	3.4	> 60	> 80

TS : Teneurs souhaitables minimales et maximales en fonction du pH ou de la CEC ou valeurs fixes. pnd* : Paramètre non demandé

pHeau favorable à l'activité biologique du sol. Conditions optimales pour l'assimilation des éléments minéraux par la plante.

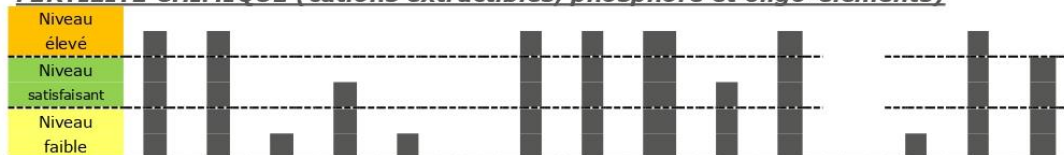
Le sol est non calcaire.

CEC très élevée. Réservoir très important, potentiel très important de fixation des cations.

Etat calcique correct, aucun amendement basique à prévoir.

pH¹ : Rapport terre/solution de 1/5.

FERTILITE CHIMIQUE (cations extractibles, phosphore et oligo-éléments)



Paramètre	CaO extr.	MgO extr.	K ₂ O extr.	Na ₂ O extr.	P ₂ O ₅ Olsen	Cu EDTA	Zn EDTA	Mn EDTA	Fe EDTA	B sol.	Mn Réd.	K ₂ O /MgO	CaO /MgO	Cu /MO
Calcul	extr.	extr.	extr.	extr.	Olsen	EDTA	EDTA	EDTA	EDTA	sol.	Réd.	/MgO	/MgO	/MO
Echantillon	3.86	0.18	0.16	0.04	0.02	3	4.1	65	77	0.75		0.9	21	1.00
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg		/	/	/
TS	2.7	0.14	0.19	0.00	0.06	1.56	2.00	12.0	40	0.3	/	1	8	0.5
	3.4	0.16	0.28	0.08	0.10	2.15	3.00	19.0	100	0.41	/	3	12	1.0

TS : Teneurs souhaitables minimales et maximales en fonction du pH ou de la CEC ou valeurs fixes.

Autres analyses

Paramètre	CaCO ₃ A	Fe	IPC	Conductivité électrique	CaO soluble	MgO soluble	K ₂ O soluble	Na ₂ O soluble	Soufre SO ₃ soluble	Humidité pondérale	Humidité résiduelle	MS
Calcul	FD X 31-146											
Echantillon						0.02		0.03				
Unité			/			g/kg		g/kg				

Votre prochaine analyse sera à réaliser en : 05/2027

Tous les résultats sont exprimés par rapport à la terre fine et sèche (< 2mm). Ce rapport d'analyse comporte 2 pages et ne concerne que les objets soumis à l'essai. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation écrite du laboratoire d'essai.

Normes utilisées : pH : Méthode interne selon NF ISO 10390 / Calcaire total : Méthode interne selon NF ISO 10693 / Calcaire actif : NF X31-106 / Azote total : Méthode interne selon NF ISO 13878 / Granulométrie : Méthode interne selon NF X 31-107 / Cations échangeables : Méthode interne selon NF X 31-108 / Carbone organique : Méthode interne selon NF ISO 10694 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Phosphore Dyer : Méthode interne selon NF X 31-160 / Phosphore Joret-Hébert : Méthode interne selon NF X 31-151 / Phosphore Olsen : Méthode interne selon NF ISO 11263 / CEC : Méthode interne selon NF X 31-130 / Cuivre, zinc, manganèse et fer : Méthode interne selon NF X 31-120 / Bore : Méthode interne selon NF X 31-122 / TPC : FD X 31-146 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Cations solubles : Méthode interne, extraction à l'eau / Humidité : Méthode interne selon NF ISO 11465 / Aluminium échangeable : Méthode interne, extraction au KCl / Soufre soluble : Méthode interne, extraction au CaCl₂.

LARCA - Laboratoire d'analyses de la chambre d'agriculture Pays de la Loire -126 rue de Beaugé - 72000 LE MANS
Tél. 02 43 28 65 86 - larca@pl.chambagri.fr

Annexe 2 : Analyse des boues de curage de Saint-Hippolyte (Larca, 2023)



Laboratoire agréé par le Ministère français de l'Agriculture. Agréments 1, 2, 3, 4 et 5. Laboratoire membre du GEMAS.

BULLETIN DE RESULTATS – ANALYSES DE TERRE

Réf. N° 2023.014.035 (23-6426)

N° dossier : 16242

Date d'édition : 12/06/2023

Demandeur :

INRAE
147 RUE DE L UNIVERSITE
75007 PARIS

Etablissement :

INRAE ST LAURENT DE LA PREE
545 RUE BOIS MACHE
17450 ST LAURENT DE LA PREE

Parcelle :

Identifiant Mes P@rcelles :
N° ilot : / Nom parcelle : BC1-23
Surface en ha :
Commune : ST HIPPOLYTE
Type de sol : Non renseigné
Utilisation :
Culture en place :
Etat d'assainissement du sol : Non renseigné
Profondeur du sol (cm) : Non renseigné

Echantillon :

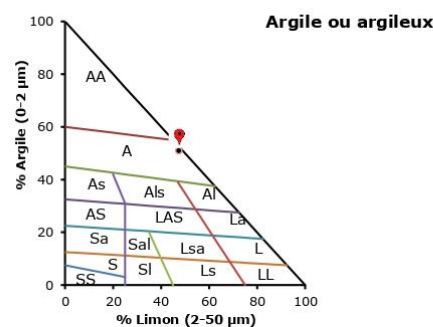
Date de prélèvement : 22/03/2023
Date d'arrivée : 15/05/2023
Nom du préleveur :
Profondeur de prélèvement (cm) : SOL -
Cailloux (%) : Manquant
Coordonnées GPS :
Latitude N/S (Y) :
Longitude E/O (X) :

RESULTATS SUR TERRE FINE (< 2 mm)

ETAT PHYSIQUE :

Granulométrie	En g/kg	En %
Argile (< 2 µm) :	509	50.9
Limon fin (2 à 20 µm) :	414	41.4
Limon grossier (20 à 50 µm) :	60	6.0
Sable fin (50 à 200 µm) :	11	1.1
Détail Sable fin (50-100 µm)		
Détail Sable fin (100-200 µm)		
Sable grossier (200 à 2000 µm) :	5	0.5
Détail Sable grossier (200 à 250 µm)		
Détail Sable grossier (250 à 500 µm)		
Détail Sable grossier (500 à 1000 µm)		
Détail Sable grossier (1000 à 2000 µm)		

Indice de battance calculé : **0.66**



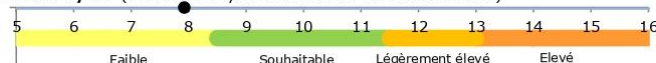
Texture du sol : Argile ou argileux. Terres très fines argileuses.
Sol non battant.

STATUT ORGANIQUE :

Paramètre	Combustion sèche			
	Carbone organique	Matière organique	Azote total	C/N
Calcul				
Echantillon	12.2	21.0	1.54	7.9
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	/
TS	22.4	38.5		8.5
	29.8	51.3		11.5

TS : Teneurs souhaitables minimales et maximales en fonction du pH ou de la CEC ou valeurs fixes.

Représentation du C/N : (selon les analyses réalisées sur combustion sèche)



MO faible et le rapport C/N est faible.
Sol à décomposition rapide de la matière organique.

LARCA - Laboratoire d'analyses de la chambre d'agriculture Pays de la Loire -126 rue de Beaugé - 72000 LE MANS
Tél. 02 43 28 65 86 - larca@pl.chambagri.fr

STATUT ACIDO-BASIQUE :

Répartition en %

Teneur en cations
Votre sol

420 méq/kg Ca⁺⁺
53.6 méq/kg Mg⁺⁺
11.0 méq/kg K⁺
2.7 méq/kg Na⁺
< 0.01 méq/kg H⁺

Sur la CEC
Votre sol

180.9% Ca⁺⁺/CEC
23.1% Mg⁺⁺/CEC
4.8% K⁺/CEC
1.2% Na⁺/CEC
< 0.01% H⁺/CEC

Optimal

65% à 85%
6 % à 12%
2 % à 5%
<1%
10 à 26%

Paramètre	pH ¹	pH ¹	Δ pH	Calcaire total	Calcaire actif	CEC Metson	CaO éch.	Ca éch. /CEC M	Taux de saturation
Calcul	H ₂ O	KCl							
Echantillon	8.3	7.3	1	103	pnd*	232	12	181	210
Unité	/	/	/	g/kg		méq/kg	g/kg	%	%
TS	6.9	/	/	/	/	/	4.7	> 60	> 80
	8	/	/	/	/	/	5.9		

TS : Teneurs souhaitables minimales et maximales en fonction du pH ou de la CEC ou valeurs fixes. *pnd** : Paramètre non demandé

Blockage potentiel de certains éléments comme le phosphore, le cuivre, le bore, le magnésium et le fer par exemple. Le sol est calcaire.

CEC très élevée. Réservoir très important, potentiel très important de fixation des cations.

Etat calcique correct, aucun amendement basique à prévoir.

pH¹ : Rapport terre/solution de 1/5.

FERTILITE CHIMIQUE (cations extractibles, phosphore et oligo-éléments)

Niveau élevé

Niveau satisfaisant

Niveau faible

Paramètre	CaO extr.	MgO extr.	K ₂ O extr.	Na ₂ O extr.	P ₂ O ₅ Olsen	Cu EDTA	Zn EDTA	Mn EDTA	Fe EDTA	B sol.	Mn Réd.	K ₂ O /MgO	CaO /MgO	Cu /MO
Calcul	#	1.08	0.52	0.09	0.06	1.6	3.5	39	39	0.86		0.5	11	0.80
Echantillon														
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg		/	/	/
TS	4.7	0.20	0.29	0.00	0.07	1.96	2.00	12.0	40	0.45	/	1	8	0.5
	5.9	0.22	0.41	0.08	0.12	2.64	3.00	17.1	100	0.56	/	3	12	1.0

TS : Teneurs souhaitables minimales et maximales en fonction du pH ou de la CEC ou valeurs fixes.

Autres analyses

Paramètre	CaCO ₃ A	Fe	IPC	Conductivité électrique	CaO soluble	MgO soluble	K ₂ O soluble	Na ₂ O soluble	Soufre SO ₃ soluble	Humidité pondérale	Humidité résiduelle	MS
Calcul	FD X 31-146											
Echantillon						0.16		0.07				
Unité			/			g/kg		g/kg				

Votre prochaine analyse sera à réaliser en : 05/2027

Tous les résultats sont exprimés par rapport à la terre fine et sèche (< 2mm). Ce rapport d'analyse comporte 2 pages et ne concerne que les objets soumis à l'essai. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation écrite du laboratoire d'essai.

Normes utilisées : pH : Méthode interne selon NF ISO 10390 / Calcaire total : Méthode interne selon NF ISO 10693 / Calcaire actif : NF X31-106 / Azote total : Méthode interne selon NF ISO 13878 / Granulométrie : Méthode interne selon NF X 31-107 / Cations échangeables : Méthode interne selon NF X 31-108 / Carbone organique : Méthode interne selon NF ISO 10694 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Phosphore Dyer : Méthode interne selon NF X 31-160 / Phosphore Joret-Hébert : Méthode interne selon NF X 31-161 / Phosphore Olsen : Méthode interne selon NF ISO 11263 / CEC : Méthode interne selon NF X 31-130 / Cuivre, zinc, manganèse et fer : Méthode interne selon NF X 31-120 / Bore : Méthode interne selon NF X 31-122 / IPC : FD X 31-146 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Cations solubles : Méthode interne, extraction à l'eau / Humidité : Méthode interne selon NF ISO 11465 / Aluminium échangeable : Méthode interne, extraction au KCl / Soufre soluble : Méthode interne, extraction au CaCl₂.

LARCA - Laboratoire d'analyses de la chambre d'agriculture Pays de la Loire -126 rue de Beaugé - 72000 LE MANS
Tél. 02 43 28 65 86 - larca@pl.chambagri.fr

Annexe 3 : Couvercle pour le traitement sans eau

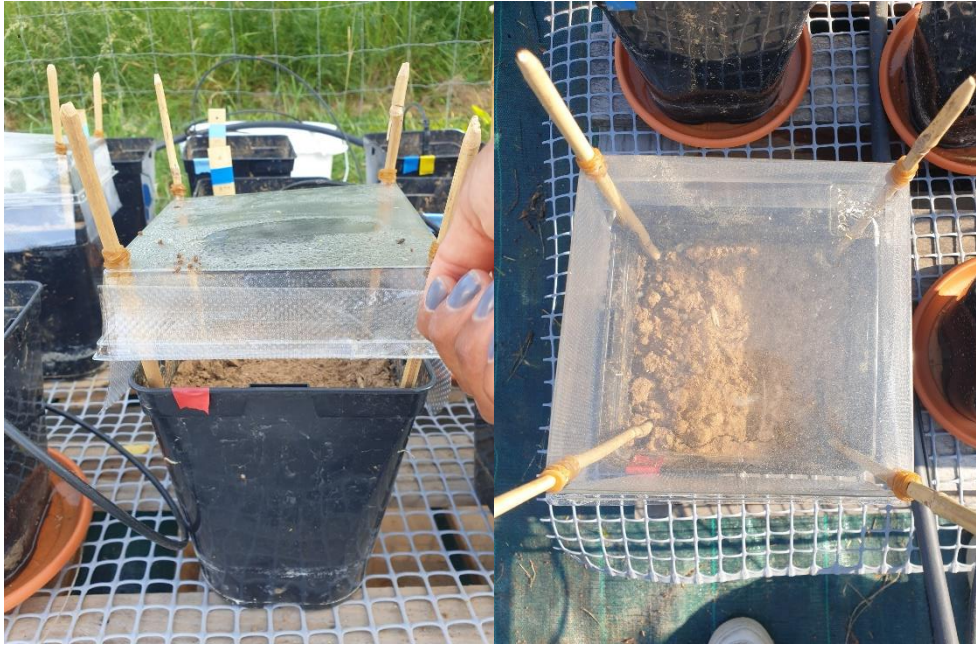


Fig. 16 : Couvercle en plastique transparent permettant de protéger les pots S de l'apport d'eau par les précipitations (Boussou, 2023)

Annexe 4 : Résultat brut des tests de comparaison par paire de Dunn, expérimentation arrosage.

Tab. 6 : Tableau de comparaison entre les traitements de l'expérimentation arrosage.

Effet entre les traitements	Nombre d'individus final	Longueur ramification (en cm)	Masse sèche aérienne (en g)	Masse sèche souterraine (en g)	Masse sèche totale (en g)
M*MA	**	**	**	**	**
M*S	*	*	*	*	*
MA*S	****	****	****	****	****

MA correspond au traitement arrosé, M correspond au traitement soumis aux précipitation, S correspond au traitement sans eau. Les astérix (*) indique l'importance de la différence entre les traitements (* indique une différence significative entre les traitements qui est moins marqué que ****).

Annexe 5 : Résultat brut des tests de comparaison par paire de Dunn, expérimentation compétition.

Tab. 7 : Tableau de comparaison entre les traitements de l'expérimentation compétition.

Effet entre les traitements	Nombre d'individu final	Longueur ramification (cm)	Longueur ramification Max (cm)	Masse sèche aérienne (g)	Masse sèche souterraine (g)	Masse sèche totale (g)
D0xD1	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
D0xD2	*	Ns	Ns	Ns	ns	Ns
D0xJ	Ns	**	**	***	**	***
D0xR	****					
D1 x D2	*	*	**	Ns	**	*
D1 x J	Ns	Ns	ns	Ns	Ns	ns
D1 x R	***					
D2 x J	*	***	****	****	****	****
D2 x R	Ns					
J x R	***					

Annexe 6 : Attestation de stage 2023

① Attestation de stage

LOGO DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

ATTESTATION DE STAGE
à remettre au stagiaire à l'issue du stage

ORGANISME D'ACCUEIL

Nom ou Dénomination sociale : **INRAE**
Adresse : **545 Route du Bois Nêché 17450 ST LAURENT DE LA PREE**

Certifie que

LE STAGIAIRE

Nom : **BOUSSOU** Prénom : **Rachel** Sexe : F M Né(e) le : **27/08/1999**
Adresse : **16 Rue des Closades - Hameau de Favas 34160 ST BAUZILLE DE MONTMEL**

ETUDIANT EN (intitulé de la formation ou du cursus de l'enseignement supérieur suivi par le ou la stagiaire) :

FORMATION D'INGENIEUR AGRONOME

AU SEIN DE (nom de l'établissement d'enseignement supérieur ou de l'organisme de formation) :

Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse

a effectué un stage prévu dans le cadre de ses études

DUREE DU STAGE

Dates de début et de fin du stage : du **06/03** au **06/09/2023**

Représentant une **durée totale** de **6** (Nbre de Mois / Nbre de Semaines) (rayer la mention inutile))

La durée totale du stage est appréciée en tenant compte de la présence effective du stagiaire dans l'organisme, sous réserve des droits à congés et autorisations d'absence prévus à l'article L.124-13 du code de l'éducation (art. L.124-18 du code de l'éducation). Chaque période au moins égale à 7 heures de présence consécutives ou non est considérée comme équivalente à un jour de stage et chaque période au moins égale à 22 jours de présence consécutifs ou non est considérée comme équivalente à un mois..

MONTANT DE LA GRATIFICATION VERSEE AU STAGIAIRE

Le stagiaire a perçu une gratification de stage pour un **montant total** de **3.572,10** €

L'attestation de stage est indispensable pour pouvoir, sous réserve du versement d'une cotisation, faire prendre en compte le stage dans les droits à retraite. La législation sur les retraites (loi n°2014-40 du 20 janvier 2014) ouvre aux étudiants dont le stage a été gratifié la possibilité de faire valider celui-ci dans la limite de deux trimestres, sous réserve du versement d'une cotisation. La demande est à faire par l'étudiant dans les deux années suivant la fin du stage et sur présentation obligatoire de l'attestation de stage mentionnant la durée totale du stage et le montant total de la gratification perçue. Les informations précises sur la cotisation à verser et sur la procédure à suivre sont à demander auprès de la sécurité sociale (code de la sécurité sociale art. L.351-17 - code de l'éducation art. D.124-9).

FAIT A. **St Laurent de la Pree** LE **25/08/2023**

Nom, fonction et signature du représentant de l'organisme d'accueil

MZALI Lilia
Directrice d'Unité



Annexe 7 : Evaluation de stage par le tuteur entreprise

Evaluation des compétences professionnelles à l'issue du stage de fin d'études à remplir par le maître de stage entreprise

Date 25/08/23

Nom et Prénom de l'étudiant BOUSSOU Rachel

Signature et tampon

Entreprise INRAE



Directrice d'Unité
UE Saint Laurent de la Prée

Eléments appréciés	Degré d'acquisition				Sans objet dans le stage de l'étudiant	A	B	C	D
	A - Expertise	B- Maîtrise	C- Acquis	D- Non acquis					
Aptitude à rechercher et mobiliser des connaissances et ressources d'un champ spécifique	Excellente mobilisation des connaissances	Bon niveau de connaissances	Peu de lacunes	Trop de lacunes		X			
Maîtrise des outils et méthodes rattachés aux sciences de l'ingénieur	Excellente maîtrise des méthodes	Bonne utilisation des méthodes	Peu de lacunes	Trop de lacunes			X		
Capacité à traiter des sujets complexes, à les analyser et les synthétiser	Excellente capacité à analyser et traiter de sujets complexes	Bonne capacité à analyser et traiter de sujets complexes	Sait analyser et traiter des sujets complexes	A des difficultés à analyser des sujets complexes		X			
Qualité et rapidité d'exécution	Est en avance par rapport aux délais impartis	Respecte toujours les délais impartis	Tient compte des délais	Ne tient pas compte des délais		X			
Prise en compte des problématiques propres de l'entreprise (compétitivité, productivité, qualité des produits, ...)	Très bien	Bien	Moyen	Insuffisant					
Prise en compte des enjeux sociétaux	Très bien	Bien	Moyen	Insuffisant		X			
Aptitude à travailler en contexte international	Très bien	Bien	Moyen	Insuffisant					
Assiduité, Ponctualité	Ne ménage pas son temps	Présence régulière	Quelques retards ou absences	Retards très fréquents		X			
Motivation, dynamisme	Se montre enthousiaste et persévérant	Se montre très intéressé	Se montre intéressé	Semble manquer d'intérêt		X			
Capacité d'organisation personnelle	Très bien	Bien	Moyen	Insuffisant		X			
Aptitude à communiquer	Très bien	Bien	Moyen	Insuffisant		X			
Autonomie	Très bien	Bien	Moyen	Insuffisant		X			
Sens des responsabilités	Les accepte même dans des situations difficiles	Les accepte volontiers	Les accepte sans les rechercher	Ne les accepte pas		X			
Aptitude au travail en équipe, collaboration	Excellent collaborateur	Bon collaborateur	Accepte de collaborer	Doit être incité à collaborer		X			

Sans objet

Sans objet

Observations: Rachel n'est totalement investie dans son stage et dans le collectif de l'unité. Autonomie dynamique, pleine d'initiatives de nombreuses, c'est un collaborateur moteur et précieux pour le collectif. Elle a pris son temps avec une grande rigueur disciplinée pour offrir de très bons travaux avec le biceps pour fournir un travail de grande qualité. BRAVO !!

Résumé

Français

L'INRAE en collaboration avec l'UMR CNRS ECOBIO et le Syndicat mixte de Charente aval ont été chargés de donner un appui scientifique aux questionnements entourant la gestion de la jussie (*Ludwigia peploides*) et les risques de colonisation de nouveaux espaces suite à l'épandage direct ou indirect de jussie sur les terres agricoles. L'expérimentation s'est axée sur deux points de recherche : étudier la capacité de germination et de croissance de la jussie en fonction de l'humidité du sol et étudier la capacité de croissance et de germination de la jussie sur les boues de curage en compétition avec un raygrass. Afin d'obtenir des données scientifiques adaptées au contexte de marais, nous avons travaillé à trois échelles, en laboratoire en conditions contrôlées, en conditions semi contrôlées puis en réalisant des suivis de terrain. Ainsi, nous avons montré que i) un apport d'eau suffisant des précipitations permet la germination et la croissance de la jussie ii) les boues de curage renferment des graines de jussies qui peuvent germer iii) la mise en compétition avec un type de raygrass permet de limiter la croissance de la jussie. Le risque de reprise de jussie sur terre agricole et boue de curage pourraient être limité par le choix de parcelle de type coteau dans le cas du marais charentais ainsi que la mise en place d'un couvert de type raygrass. Cependant, cette étude ne s'est focalisée que sur une voie alternative de destruction de la jussie. La mise en place d'un compostage de proximité semble être une autre voie potentielle à explorer.

Mots clés : Jussie rampante (*Ludwigia peploides*), espèce exotique envahissante, boue de curage, morphe terrestre, compétition, humidité.

Anglais :

INRAE, in collaboration with UMR CNRS ECOBIO and Syndicat Mixte de Charente Aval, were asked to provide scientific support for questions surrounding the management of water primrose (*Ludwigia peploides*) and the risks of colonization of new areas following direct or indirect spreading of water primrose on agricultural land. The experiment focused on two research points: studying the germination and growth capacity of water primrose as a function of soil moisture, and studying the growth and germination capacity of water primrose on sewage sludge in competition with raygrass. In order to obtain scientific data adapted to the marsh context, we worked on three scales: in the laboratory under controlled conditions, under semi-controlled conditions and then by carrying out field monitoring. We have shown that i) a sufficient supply of water from precipitations enables the germination and growth of water primrose on agricultural lands ii) sewage sludge contains water primrose seeds which can germinate and grow iii) competition with a type of raygrass limits the growth of water primrose. The risk of water primrose re-growth on agricultural land and sewage sludge could be limited by choosing hillside-type lands in the case of the Charentais marshes, and by planting a raygrass-type cover. However, this study only focused on one alternative way of destroying primrose willow. The introduction of local composting seems to be another potential avenue to explore.

Keywords: Water primrose (*Ludwigia peploides*), exotic invasive species, sewage sludge, terrestrial morph, competition, soil moisture