



HAL
open science

ETUDE SUR LES PRATIQUES A RISQUE D'INVASION DE LA JUSSIE TERRESTRE

Lilia Mzali, Boussou Rachel, Emilie Cadet, Eric Kerneis, Gabrielle Thiébaud

► **To cite this version:**

Lilia Mzali, Boussou Rachel, Emilie Cadet, Eric Kerneis, Gabrielle Thiébaud. ETUDE SUR LES PRATIQUES A RISQUE D'INVASION DE LA JUSSIE TERRESTRE. INRAE; Ecobio UMR 6553, CNRS/Univdersité de Rennes 1. 2024. hal-04870548

HAL Id: hal-04870548

<https://hal.science/hal-04870548v1>

Submitted on 7 Jan 2025

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.



ETUDE SUR LES PRATIQUES A RISQUE D'INVASION DE LA JUSSIE TERRESTRE

Dans quelle mesure l'épandage direct ou indirect de jussie sur des terres agricoles présente-t-il un risque d'invasion ?

Lilia Mzali ¹, Rachel Boussou², Emilie Cadet¹, Eric Kernéis¹, Gabrielle Thiébaud³
Octobre 2024

¹ INRAE UE SLP

² ENSAT

³ Université Rennes

Table des figures et tableaux	3
Remerciements :	4
Résumé.....	5
Introduction.....	7
Expérimentations 2022 et 2023 : Pouvoir germinatif de différentes populations de <i>Ludwigia peploides</i> à 2 températures.....	12
◆ Collecte et stockage	12
◆ Test de germination	12
◆ Résultats	12
▪ 2022 (White, 2022).....	12
▪ 2023.....	14
Préalable - Caractérisation météorologique de l'année 2022	16
Expérimentations 2022 : Capacité de germination et de croissance de la jussie rampante sur sols agricoles (cultures et prairies) à partir de graines et de fragments (Charvet, 2022)	18
◆ Expérimentation « Graines sur sol cultivés »	20
▪ Sols cultivés	20
▪ Graines de jussie.....	21
▪ Plan d'expérience	21
▪ Facteurs abiotiques mesurés.....	21
▪ Paramètres morphologiques mesurés	21
▪ Résultats	22
◆ Expérimentation « Graines sur sol de prairie » (Bosse et Jas)	25
▪ Sols prairies	25
▪ Graines de jussie.....	27
▪ Plan d'expérience	27
▪ Facteurs abiotiques mesurés.....	27
▪ Paramètres morphologiques mesurés	27
▪ Résultats	27
◆ Expérimentation fragment de tige ou « Propagules »	28
▪ Sols cultivés et de prairies	28
▪ Fragments de tiges de jussie avec apex (ou Propagules)	29
▪ Plan d'expérience	30
▪ Facteurs abiotiques mesurés.....	30
▪ Paramètres morphologiques mesurés	30

▪ Analyse statistique	30
▪ Résultats	31
◆ Discussion	32
◆ Conclusion	33
Préalable- Caractérisation météorologique de l'année 2023	34
Expérimentations 2023 (Boussou, 2023)	36
◆ Test de l'incidence d'apports d'eau sur la capacité de germination.....	36
▪ Sol cultivé	36
▪ Graines de jussie.....	36
▪ Plan d'expérience	36
▪ Facteurs abiotiques mesurés.....	38
▪ Paramètres morphologiques mesurés	38
▪ Analyse statistique	38
▪ Résultats	39
▪ Discussion	44
◆ Capacité de germination sur boues de curage et compétition avec un semi de Ray-grass..	45
◆ Expérimentation préalable - Expression de la banque de graine des boues de curage	45
▪ Boue de curage.....	45
▪ Graine de jussie et de Ray-grass.....	46
▪ Plan d'expérience	46
▪ Paramètres morphologiques mesurés	47
▪ Résultats	47
▪ Discussion	50
◆ Relevés in situ.....	51
Conclusion – Synthèse des expérimentations.....	55
▪ Annexe 1 : Résultats de l'analyse de terre de marais (S1) (Larca, 2022)	I
▪ Annexe 2 : Résultats de l'analyses de terre de groie (S2) (Larca, 2022)	III
▪ Annexe 3 : Résultats de l'analyse de terre de bosse (Larca, 2022)	V
▪ Annexe 4 : Résultats de l'analyse de terre de groie (Larca 2023)	VII
▪ Annexe 5 : Résultats de l'analyse des boues de curage (Larca, 2023)	IX
▪ Annexe 6 : Tests statistiques de Kruskal-Wallis montrant le développement de la jussie en fonction de la densité de Ray-grass anglais (RGA) semée.....	XI
▪ Annexe 7 : Compte rendu échange du 30/09/2021.....	XIV
▪ Annexe 8 : Compte rendu du comité de suivi du 02/02/2023	XVIII

Table des figures et tableaux

Figure 1 - Means (\pm SD) for final germination percentage of <i>Ludwigia peploides</i> under two temperature regimes, for seven populations from Rochefort Area.	13
Figure 2 - Pourcentage cumulé de germination de <i>Ludwigia peploides</i> pendant 28 jours à deux températures différentes pour la population A10_2 de Saint-Laurent-de-la-Prée	14
Figure 3 - Pourcentage cumulé de germination de <i>Ludwigia peploides</i> pendant 28 jours à deux températures différentes pour la population G2 et S2 de Saint-Laurent-de-la-Prée	15
Figure 4- conditions météorologiques de l'année 2022	17
Figure 5 - Plan expérimental de l'expérimentation 2022.....	19
Figure 6 - Granulométrie des sols agricoles de Saint-Hippolyte	20
Figure 7 - Cinétique de germination de la jussie sur les sols cultivés	23
Figure 8 - Effet du sol sur le nombre d'individus final.....	23
Figure 9 - Effet du sol sur la masse fraîche totale	24
Figure 10 - Effet du type de sol sur le nombre d'individus de jussie final.....	28
Figure 11 - Cinétique de survie des propagules de jussie sur les sols cultivés et prairiaux.	31
Figure 12 - Effet du type de sol sur la masse totale de jussie issue de propagules.	32
Figure 13 - Caractéristiques climatiques du début de l'année 2023.....	34
Figure 14 - Comparaison des températures moyennes mensuelles de l'année 2023 avec les normales de température (1981-2010) (Climatik, 2023)	35
Figure 15 - Plan d'expérimental 2023, expérimentation arrosage	37
Figure 16 - Cinétique de germination de la jussie en fonction des traitements arrosage	39
Figure 17 - Effet du traitement arrosage sur le nombre final de jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn).....	40
Figure 18 - Effet du traitement sur la biomasse créée de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn).....	41
Figure 19 - Effet du traitement sur la croissance de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn)	41
Figure 20 - Evolution du taux d'humidité dans le sol des différents traitements pendant 74 jours.....	42
Figure 21 - Evolution des germinations de jussie en fonction de l'humidité du sol.....	43
Figure 22 - Conditions météorologiques de température et de précipitation au cours de l'expérimentation 2023 (Source : Climatik).....	43
Figure 23 - Design expérimental pour l'expérimentation « compétition » entre le Ray-grass et la jussie sur boues de curage	46
Figure 24 - Cinétique de germination de la jussie en fonction de la densité de Ray-grass semée	47
Figure 25 - Cinétique de la croissance moyenne de la jussie en fonction de la densité de Ray-grass..	48
Figure 26 - Effet de la densité de Ray-grass semé sur la croissance de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn)	49
Figure 27 - Effet du traitement densité de Ray-grass sur la masse sèche totale de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn)	50
Figure 28 - Localisation et caractéristiques des boues suivies en 2023 sur la parcelle P1 du site de Moragne	52
Figure 29- Localisation et caractéristiques des boues suivies en 2023 sur la parcelle P2 du site de Moragne	53
Figure 30 - Localisation et caractéristiques des boues suivies en 2023 sur les parcelles du site de Saint Hippolyte	53

Tableau 1 - Récapitulatif des différentes expérimentations présentées dans ce rapport.....	11
Tableau 2 - Taux de germination de différentes populations de jussie des marais charentais.....	13
Tableau 4 - Caractéristiques climatiques de l'année 2022.....	16
Tableau 3- Caractéristiques climatique de l'année 2022.....	16
Tableau 5 - Matériel prélevé pour l'expérimentation 2022 (Charvet, 2022).....	19
Tableau 6 - Caractéristiques des sols agricoles de Saint-Hippolyte (LARCA, Annexe 1 et 2).....	20
Tableau 7 - Caractéristiques du sol de prairie de Saint-Just-Luzac (LARCA, Annexe 3).....	25
Tableau 8 - Composition floristique moyenne et importance du sol nu dans les pots dont le sol a été prélevé dans un jas.....	26
Tableau 9 - Composition floristique moyenne et importance du sol nu dans les pots dont le sol a été prélevé dans sur une bosse.....	26
Tableau 10 - Caractéristiques climatiques de l'année 2023.....	34
Tableau 11 - Réponse des traits morphologiques de la jussie aux différents traitements.....	40
Tableau 12 - Matériel collecté pour l'expérimentation boue de curage.....	45
Tableau 13 - Effet de la présence ou non de Ray-grass sur les traits morphologiques des plantules de jussie.....	49
Tableau 14 - Caractéristiques des boues de curage sur prairies prospectées en 2022 (F : fauche ; P : pâture).....	51
Tableau 15 - Caractéristiques des boues de curage sur prairies suivies en 2023 (F : fauche ; P : pâture).....	52

Remerciements :

Merci aux étudiants ayant contribué à la réalisation de ce rapport.

Eloïse Charvet en première année de master Sciences Pour l'Environnement, parcours Gestion de l'Environnement et Ecologie Littorale à La Rochelle Université 2022 –

La gestion de la jussie rampante (Ludwigia peploides), espèce exotique envahissante, dans les marais rétro-littoraux de Charente-Maritime.

Hugo White en première année de master IMABEE, Université Rennes 1– 2022

Temperature effect on germination and growth capacity of different populations of an invasive species: Ludwigia peploides.

Rachel Boussou en deuxième année de master « Ecosystème et anthropisation », Université Paul Sabatier, Toulouse et en dernière année d'école d'ingénieur agronome, spécialisation QEGR, ENSAT, Toulouse - 2023 –

Étude sur les pratiques à 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 ?

Résumé

Français :

Les gestionnaires des marais atlantiques, milieux remarquables assurant de nombreuses fonctions et supports de diverses activités humaines, sont confrontés à des invasions biologiques croissantes. La gestion de la jussie (*Ludwigia peploides*) est un sujet d'attention majeure. La gestion des espèces exotiques envahissantes et notamment de *L. peploides* pèse de plus en plus lourd dans les budgets et les gestionnaires de bassin versant recherchent de nouvelles voies de destruction de cette espèce, tout en étant particulièrement attentif au nouveau morphe terrestre et donc au risque d'invasion de nouveaux écosystèmes.

En s'appuyant sur la démarche de recherche-action en partenariat, les équipes de recherche d'INRAE sur le site de Saint-Laurent-de-la-Prée, d'ECOBIO à l'université de Rennes se sont associées au SMCA (Syndicat mixte de Charente-aval) pour proposer un programme d'expérimentation sur deux ans, à trois échelles géographiques et à trois pas de temps différents, associant des tests en laboratoires, des expérimentations en milieu semi-contrôlé et des observations terrain. Le couplage de ces expérimentations permet de combiner (i) des approches analytiques où les paramètres environnementaux sont maîtrisés à (ii) une approche in situ, plus fidèle aux conditions rencontrées par les gestionnaires mais qui ne permet pas de différencier l'effet des différents facteurs sur la reprise de la jussie et qui nécessite souvent des temps d'observation long et un échantillonnage poussé.

Nous avons travaillé autour de deux pratiques de gestion de la jussie, (i) l'arrachage manuel de la plante associé à un épandage en milieu agricole et (ii) le curage et dépôt des boues sur les parcelles agricoles.

Le programme de recherche a porté sur (i) des tests de germination de différentes populations en laboratoire, (ii) des expérimentations autour de la germination ou de la croissance de la jussie rampante sur divers échantillons de terres agricoles caractéristiques des marais, (iii) une expérimentation autour de la germination de la jussie mise en compétition avec du Ray-grass sur les boues de curage et enfin (iv) des observations floristiques en exploitation agricole.

Les différentes expérimentations ont montré que la jussie peut germer et se développer sur sols agricoles argileux caractéristiques des marais charentais. Les effets « site », « type de sols », température » et « humidité » sur la germination et le développement de la jussie, sont significatifs. Les boues de curage contiennent des graines capables de germer. Le risque de reprise de jussie terrestre ne peut donc pas être écarté quand il y a épandage de jussie sur les terres agricoles, que cela soit un épandage de jussie arrachée ou un épandage de boues de curage de fossé en bord de champs. Toutefois, il a également été démontré qu'une certaine compétition s'installe et freine le développement de la jussie quand elle est en présence, soit d'un couvert dense de prairie, soit avec un semis de Ray-grass. En condition réelle, les observations de reprises de jussie terrestre sur les parcelles disparaissent dès que le climat estival s'installe et que les boues sèchent ; le facteur « humidité » étant un facteur prépondérant pour expliquer les reprises de jussie.

Mots clés : espèce exotique envahissante, boue de curage, *Ludwigia peploides*, couvert végétal, morphe terrestre, marais atlantiques, arrachage, épandage, germination, développement végétatif.

Anglais :

Managers of Atlantic marshes, remarkable environments that serve various functions and support diverse human activities, are facing increasing biological invasions. The management of water primrose (*Ludwigia peploides*) is a major focus. The management of invasive exotic species, especially *L. peploides*, is becoming increasingly burdensome on budgets, and watershed managers are seeking new ways to control this species, while paying particular attention to the new terrestrial morph and the risk of invading new ecosystems.

Based on a participatory action research approach, research teams from INRAE at the Saint-Laurent-de-la-Prée site and ECOBIO at the University of Rennes partnered with the SMCA (Mixed Union of Charente-Aval) to propose a two-year experimental program at three geographical scales and three different time steps. This program involved laboratory tests, experiments in semi-controlled environments, and field observations. The combination of these experiments allows for the integration of (i) analytical approaches where environmental parameters are controlled with (ii) an in-situ approach, more faithful to the conditions encountered by managers but unable to differentiate the effect of different factors on water primrose re-establishment, often requiring long observation times and extensive sampling.

The research focused on two water primrose management practices: (i) manual removal of the plant coupled with spreading in agricultural areas and (ii) dredging and deposition of sludge on agricultural parcels.

The research program included (i) germination tests of different populations in the laboratory, (ii) experiments on the germination or growth of creeping water primrose on various samples of agricultural land characteristic of marshes, (iii) an experiment on the germination of water primrose in competition with Ray-grass on dredging sludge, and finally (iv) floristic observations in agricultural operation.

The various experiments showed that water primrose can germinate and develop on clayey agricultural soils characteristic of Charentais marshes. The effects of "site," "soil type," "temperature," and "humidity" on water primrose germination and development are significant. Dredging sludge contains seeds capable of germination. The risk of terrestrial water primrose resurgence cannot be ruled out when water primrose is spread on agricultural land, whether it is spread manually or through the deposition of ditch dredging sludge along field edges. However, it has also been demonstrated that competition sets in and hinders water primrose development when it is in the presence of either a dense meadow cover or Ray-grass seeding. In real conditions, observations of terrestrial water primrose resurgence on parcels disappear as soon as the summer climate sets in and the sludge dries; the "humidity" factor being a predominant factor in explaining water primrose resurgences.

Keywords: Invasive exotic species, Dredging sludge, Water primrose, *Ludwigia peploides*, Vegetative cover, Terrestrial morph, Atlantic marshes, Manual removal, Spreading, Germination, Vegetative development

Introduction

La mondialisation et l'augmentation des échanges commerciaux a généré une recrudescence de transferts intentionnels et non intentionnels d'organismes vivants. De nombreuses espèces ont été transférées pour diverses raisons : ornementale comme le myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum*) dans la région bordelaise (Thiébaud, 2007), pour la préservation de l'écosystème comme la griffe de sorcière (*Carpobrotus edulis*) pour la stabilisation des dunes (CDR EEE, 2022) ou encore pour l'aquariophilie comme l'azolla (*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 1/1000 le deviennent (ONB, 2022). Les étapes de l'invasion sont l'importation, l'établissement, la naturalisation, l'expansion (Williamson, 1996). Ces espèces sont désormais reconnues comme une menace majeure pour la biodiversité. Elles sont considérées comme la deuxième cause de perte de biodiversité (IPBES, 2019). Il a été démontré que ces espèces contribuent au déclin des espèces indigènes⁴ et à la dégradation des écosystèmes. En raison de leur compétitivité, elles monopolisent les ressources environnementales au détriment des espèces indigènes. Leur impact ne se limite pas à l'environnement. En effet, elles peuvent aussi avoir un impact économique ou social. Leur gestion nécessite du temps et des ressources financières. Le coût annuel des espèces exotiques envahissantes a été estimé à environ 9 à 12 milliards d'euros en Europe (MEEDDM, 2017).

Parmi les espèces exotiques envahissantes la jussie est considérée comme une des plus problématiques en France. C'est aussi la plus coûteuse en termes de gestion car elle est le cœur d'une gestion systématique. Le coût de gestion des espèces végétales envahissantes 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 deux espèces de jussie : *L. grandiflora* et *L. peploides*. (Legifrance, 2007). Originaire d'Amérique du Sud et Centrale, la jussie a été exportée pour des raisons ornementales en Europe. C'est en France, à Montpellier, que l'invasion a débuté. Introduite en 1820 dans le jardin botanique, l'espèce a 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 plante aquatique amphibie d'eau douce se reproduisant principalement de manière végétative. Sa capacité de bouturage élevée lui permet de coloniser rapidement les écosystèmes. Bien que peu étudiée, la reproduction sexuée joue probablement un rôle majeur dans l'envahissement de nouveaux biotopes grâce à l'hydrochorie (Ruax et al., 2009). La jussie a une croissance extrêmement rapide pouvant aller jusqu'à 2 cm par jour (CBNB, 2008) ce qui la rend particulièrement compétitive par rapport aux espèces indigènes. Cette espèce vit principalement dans les eaux stagnantes ou à faible courant, en conditions ensoleillées. Dans son aire d'origine, elle est présente dans les zones humides (Rolon et al., 2008) et dans la zone de transition entre les environnements aquatiques et terrestres (Hernandez et Rangel, 2009). On la retrouve notamment au niveau

⁴ Espèce indigène : En biogéographie, une espèce, un taxon ou une population est définie comme indigène (ou autochtone) à une région donnée ou à un écosystème si sa présence dans cette région est le résultat de processus naturels, sans intervention humaine.

des marges humides d'étangs, de mares et de lacs. Elle est cependant aussi présente 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 impacts causés par la jussie sur les activités (agricoles, de loisir) et l'écosystème justifient les actions de lutte menées à l'encontre de l'espèce. (Menozzi, 2010). 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 sur le pH et la concentration en oxygène. (Dandelot et al., 2008).

Plusieurs méthodes de gestion existent pour lutter contre les invasions de *Ludwigia spp.*, physiques, chimiques et de biocontrôle. Une synthèse bibliographique (Delbart et al., 2012) a analysé l'efficacité des différentes méthodes de lutte contre les espèces exotiques envahissantes. 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). En France, l'utilisation d'herbicide est interdite bien que pendant une période une dérogation ait permis d'en utiliser.

Le biocontrôle ne s'est pas montré concluant. Il faut en effet, plus de temps pour obtenir de bons résultats et les coléoptères utilisés peuvent aussi devenir envahissants. La lutte mécanique à l'aide d'engins lourds est également une méthode courante. La plupart du temps, ce sont des machines agricoles, leur grande diversité permet de travailler dans plusieurs contextes. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de gérer une grande surface (Dutartre et Tremea, 1990) cependant, elle n'est pas spécifique, et par conséquent, une partie de la faune et de la flore locales peut être éliminée pendant les travaux. Les machines lourdes favorisent également la remise en suspension des sédiments et la destruction ou le tassement des berges (Carpenter et Adams, 1977). La méthode de contrôle manuel permet une action plus spécifique et peut être réalisée dans des zones non accessibles aux machines. Cette méthode n'est pas adaptée aux grandes surfaces, bien qu'elle semble être la plus efficace à ce jour (Rebillard et al, 2002). D'autres méthodes de luttés sont actuellement en cours d'essai pour lutter contre l'espèce : le pâturage, la salinisation, favoriser le gel ou l'assec etc. (Pestie, 2022).

Pour faire suite aux dépôts de jussie sur les bords des cours d'eau dans les opérations de gestion et au risque d'apparition d'un morphe terrestre, 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 EEE⁵ (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.

⁵ EEE- Espèces Exotiques Envahissantes

En France, la principale méthode d'élimination et 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). Cependant, les frais d'arrachage, de transport ainsi que les frais d'admission dans les centres de compostage sont élevés. C'est dans ce nouveau contexte que le SMCA⁶ s'est rapproché de l'unité expérimentale INRAE de Saint-Laurent-de-la-Prée afin de bénéficier de leur appui scientifique sur la possibilité d'explorer d'autres voies d'éliminations de la jussie comme l'épandage sur des terres agricoles. Le SMCA est un syndicat mixte qui exerce la compétence GEMAPI⁷ suite au transfert de cette dernière par les EPCI (loi MAPTAM).

Au titre de cette compétence et des objectifs, le SMCA met en œuvre différentes actions, notamment la lutte contre les espèces exotiques envahissantes végétale (campagne d'arrachage pour la Jussie) sur les axes principaux de son territoire, en lien avec les Associations syndicales autorisées (ASA) de marais. Craignant le développement d'un morphe de jussie terrestre, le SMCA a souhaité avoir un regard scientifique sur les risques d'invasion encourus en cas d'épandage de jussie sur terre agricole que cela soit un dépôt direct de jussie arrachée ou d'épandage de boues de curage.

Même si on retrouve de nombreux retours d'expériences sur la gestion de l'espèce et sur des moyens de lutte existants, peu d'articles de recherche ont été publiés sur la reproduction sexuée de cette espèce ou sur le cas particulier du marais charentais argileux. Ce rapport vise à approfondir nos connaissances sur les mécanismes d'adaptation et les stratégies de croissance de la jussie face aux contraintes environnementales afin de mieux comprendre les risques d'invasion.

La question formulée par le SMCA était tournée dans un premier temps sur l'appréciation du risque d'invasion de jussie terrestre sur le territoire, suite à un épandage sur des terres agricoles de jussie arrachée.

Un échange a eu lieu le 30 septembre 2021 en présence du SMCA, de l'équipe de l'Unité Expérimentale INRAE de Saint-Laurent-de-la-Prée, de Gabrielle Thiébaud de l'Université de Rennes, du CD17, de la CARO (animatrice Natura 2000), de l'ARB, du FMA (cf CR en annexe 7) afin de partager les questionnements et orienter la construction d'un projet de recherche.

En s'appuyant sur la démarche de recherche-action en partenariat et ses grands principes (Liu, 1992), les équipes de l'UE INRAE de Saint-Laurent-de-la-Prée se sont associées au laboratoire ECOBIO (Université de Rennes) pour explorer et identifier les questions qui faisaient sens, à la fois pour les gestionnaires, en l'occurrence le SMCA, et pour la recherche.

Afin de prendre en compte d'une part le besoin de maîtrise des conditions expérimentales pour disposer de données exploitables pour la recherche et d'autre part le besoin de disposer de résultats s'approchant de la réalité du terrain, un protocole à trois échelles a été construit.

Ce programme de recherche a été affiné et co-construit avec le SMCA et les partenaires présents lors de la réunion du 30 septembre 2021, pour être formalisé dans un contrat de recherche signé entre INRAE et le SMCA le 05 mai 2022. Un comité technique associant les deux signataires a été constitué pour le suivi du projet et une commission consultative a été instaurée pour associer largement les partenaires au projet.

⁶ SMCA : Syndicat Mixte Charente Aval

⁷ GEMAPI : Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations

Une première expérimentation (i) a été mise en place en conditions contrôlées au laboratoire Ecobio à Rennes (G. Thiébaud), une seconde (ii) en conditions semi-contrôlées à Saint-Laurent-de-la-Prée sur l'unité INRAE et enfin des suivis terrain (iii) ont été conduits sur les marais de Rochefort et des bords de Charente. L'ensemble de ces expérimentations concerne *L. peploides* (Tableau 1).

L'expérimentation conduite en 2022 a permis de donner des premiers éléments de réponse. L'objectif était de tester la capacité de germination et de croissance de la jussie sur différents types de sols des marais charentais argileux en utilisant des graines et des fragments de jussie (appelée dans la suite « expérimentation 2022 : capacité de germination et de croissance de la jussie rampante sur sols agricoles »). Cette expérimentation a été présentée in situ et lors de la commission consultative du 02 février 2023.

Lors de la commission consultative de février 2023, il a été décidé de poursuivre cette expérimentation en 2023 en faisant varier la quantité d'eau apportée à un sol de marais semé de jussie pour approcher l'incidence des apports d'eau (appelée par la suite « Test de l'incidence d'apports d'eau sur la capacité de germination »). Dans un second temps, la question s'est orientée vers le risque d'invasion de jussie terrestre à partir de l'épandage des boues de curage des fossés. En effet, pour l'entretien des réseaux, les gestionnaires de marais sont amenés à curer certains fossés régulièrement (tous les 5 à 10 ans). Lors des curages, la présence d'espèces exotiques envahissantes n'est pas toujours prise en compte. Il est donc possible que de la jussie soit extraite en même temps que les boues puis régalée en bordure de parcelle avec celle-ci. Étant donné la forte capacité de reproduction végétative de la jussie, il est possible d'observer des reprises de cette dernière. 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 (CCEAU, 2013). **La seconde expérimentation en 2023 a visé à appréhender l'impact de la compétition entre la jussie présente dans les boues et un semis de Ray-grass sur les boues de curage** (appelée dans la suite « Capacité de germination sur boues de curage et compétition avec un semi de Ray-grass »).

Tableau 1 - Récapitulatif des différentes expérimentations présentées dans ce rapport

Expérimentation	Objectif	Variable	Condition	Mesure	Page
2022 et 2023 Pouvoir germinatif de différentes populations de jussie rampante à 2 températures		-Température - Population	Conditions contrôlées Université de Rennes	- Germination	12
2022 Capacité de germination et de croissance de la jussie rampante sur sols agricoles des marais charentais	Evaluer la capacité de germination et le développement sur sols cultivés et sur prairies Evaluer la capacité de reprise de fragments de jussie et leur croissance sur sols cultivés et sur prairies	- Sol - Mode de reproduction	Conditions semi-contrôlées Site INRAE UE St-Laurent-de-la-Prée	- Germination - Survie - Croissance - Masse fraîche - Phénologie	17
2023 Expérimentation banque de graine	Tester si la banque de graine des boues de curage contient des graines de jussie viables.		Conditions semi-contrôlées Site INRAE UE St-Laurent-de-la-Prée	-Germination -Phénologie	45
2023 Test de l'incidence d'apports d'eau sur la capacité de germination	Evaluer l'effet de l'humidité du sol sur la capacité de germination et de croissance de la jussie	- Humidité du sol	Conditions semi-contrôlées Site INRAE UE St-Laurent-de-la-Prée	- Germination - Survie - Croissance - Masse fraîche - Masse sèche - Phénologie	36
2023 Capacité de germination sur boues de curage et compétition avec un semi de Ray-grass	Tester l'effet de la compétition avec du raygrass sur la germination et la croissance de la jussie	- Couvert végétal	Conditions semi-contrôlées Site INRAE UE St-Laurent-de-la-Prée	-Germination -Survie -Croissance -Masse fraîche -Masse sèche -Phénologie	45
2023 Relevés in situ	Inventorier la présence de jussie sur les boues de curage épandues en bord de fossé	- Pratiques agricoles - Date du curage	In situ – marais rochefortais	Dénombrement	51

Expérimentations 2022 et 2023 : Pouvoir germinatif de différentes populations de *Ludwigia peploides* à 2 températures

L'objectif de ces expérimentations réalisées au laboratoire ECOBIO (Université de Rennes) est double. Il s'agit tout d'abord d'évaluer la dynamique de germination des différentes populations prélevées dans les marais charentais et ensuite de sélectionner les populations au plus fort taux de germination pour réaliser les expérimentations en milieu semi-contrôlé sur le site INRAE de Saint-Laurent-de-la-Prée.



◆ Collecte et stockage

Les capsules ont été collectées durant les mois d'octobre 2021 et 2022. Pour l'expérimentation 2022, nous avons collecté 4 populations sur 4 communes de Charente-Maritime ; pour l'expérimentation 2023, 3 populations sur la commune de St-Laurent-de-la-Prée ont été collectées.

Les capsules ont été prélevées sur des ramifications séparées d'au moins dix mètres pour augmenter la probabilité de collecter à partir d'individus distincts (Gillard et al., 2020). Jusqu'à trois capsules peuvent être prélevées sur une même ramification à des niveaux différents, les capsules les plus proches des rhizomes sont considérées comme étant les plus matures.

Les capsules sont mises à sécher à l'air libre, puis les graines sont extraites et conservées en tube eppendorf à 4 °C avant le lancement des tests.

◆ Test de germination

Les tests de germinations ont été réalisés au laboratoire Ecobio (Université Rennes).

Deux scénarios de température ont été testés afin de tenir compte des perspectives liées au changement climatique. Le premier scénario (23°C, 24°C) correspond aux températures actuelles. Le second à 27°C reproduit les conditions qu'on obtiendrait si le scénario +3°C du GIEC se réalisait. Le protocole détaillé a été décrit dans White (2022). Il est identique en 2022 et en 2023.

Pour chaque population, 100 graines de *L. peploides* récoltées à l'automne précédent et stockées au froid jusqu'en mars, ont été placées dans 2 enceintes climatiques avec une photopériode de 12h/12h (jour/nuit). Le nombre de germination a été comptabilisé chaque jour hors week-end.

◆ Résultats

▪ 2022 (White, 2022)

Les résultats de germination montrent que les populations ont des taux de germination très variables d'un site à l'autre ([Tableau 2 - Taux de germination de différentes populations de jussie des marais charentais](#)

, [Figure 1](#)), ce qui confirme l'effet « site » déjà mis en évidence par divers opérateurs de l'ouest de la métropole

(Dutartre, coord.,2007 ; Gillard et al, 2017) ; des taux de germination allant de 5 à 85% ayant été mesurés pour *L. peploides*.

On montre également un effet température ; les taux de germination à 27°C étant en moyenne 50% plus élevés que les taux à 23°C (la population SJL faisant exception).

Tableau 2 - Taux de germination de différentes populations de jussie des marais charentais

	St-Just-Luzac (SJL)	Genouillé (G)	St-Hippolyte (H)	Yves (Y)
23°C	76	25	34	25
27°C	70	54	59	54

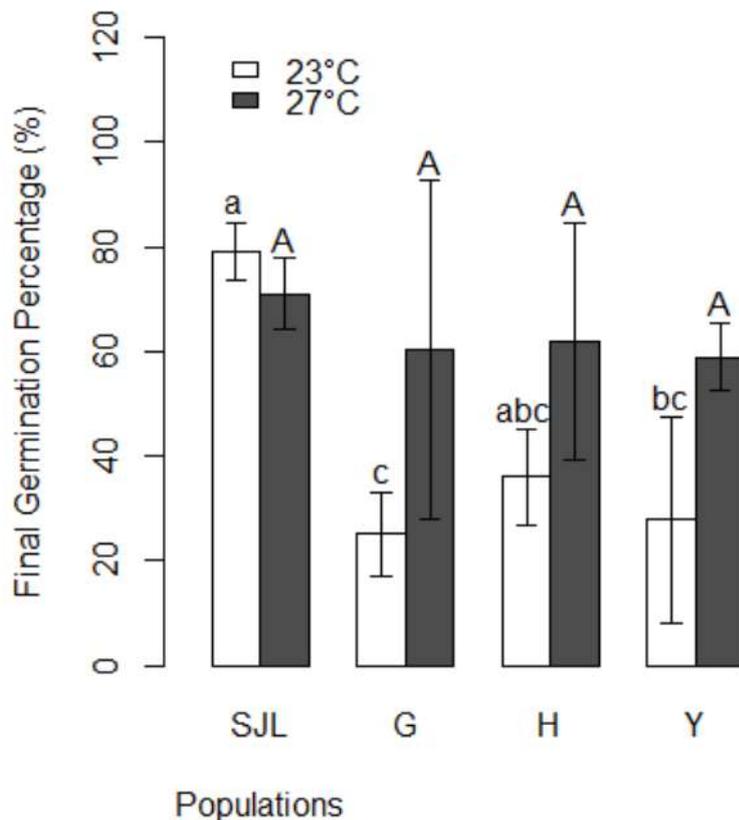


Figure 1 - Means (\pm SD) for final germination percentage of *Ludwigia peploides* under two temperature regimes, for seven populations from Rochefort Area.

Different letters above bars represent significant differences between populations, at 23°C in lowercase letters and at 27°C in uppercase letters ($P < 0.05$, Tukey HSD test). N=100

- Pour les expérimentations 2022 en milieu semi contrôlés sur le site INRAE de Saint-Laurent-de-la-Prée, les populations H et SJL ont été retenues pour les expérimentations respectivement « sols cultivés » et « prairie ».

2023

Les tests de germination conduits en 2023 sur d'autres populations (A10, G2 et S2) situées toutes sur la commune de Saint-Laurent-de-la-Prée sur le site INRAE ont confirmé les résultats de 2022.

L'évolution du pourcentage de germination dans le temps pour la population A10_2 montre une augmentation rapide les 5 premiers jours aux deux régimes de températures (Figure 2). Le taux de germination est passé de 30% à 92% à 24°C et de 79% à 96% à 27°C. Les résultats du pourcentage final montrent que la température a un effet. Une augmentation de température augmente la capacité de germination de la population A10_2.

- La population A10_2 a été retenue pour conduire les expérimentations sur site INRAE en 2023.

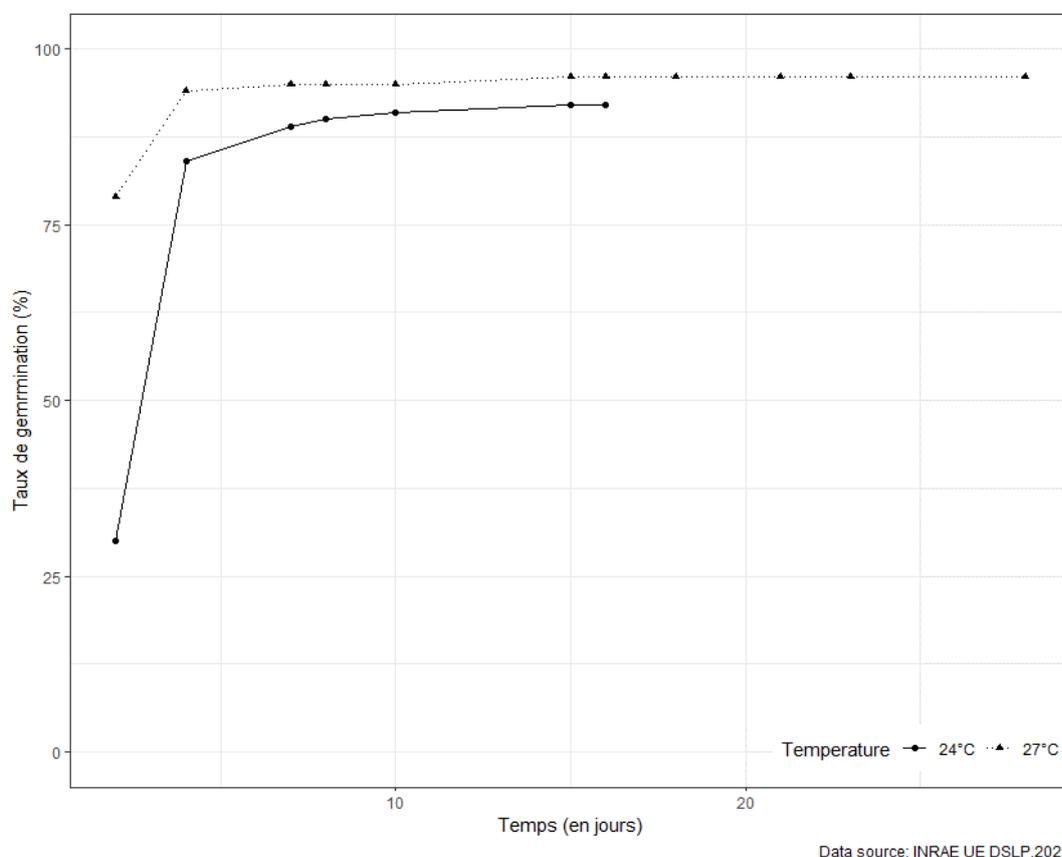


Figure 2 - Pourcentage cumulé de germination de *Ludwigia peploides* pendant 28 jours à deux températures différentes pour la population A10_2 de Saint-Laurent-de-la-Prée 24°C (ligne pleine), 27°C (pointillé), N=100

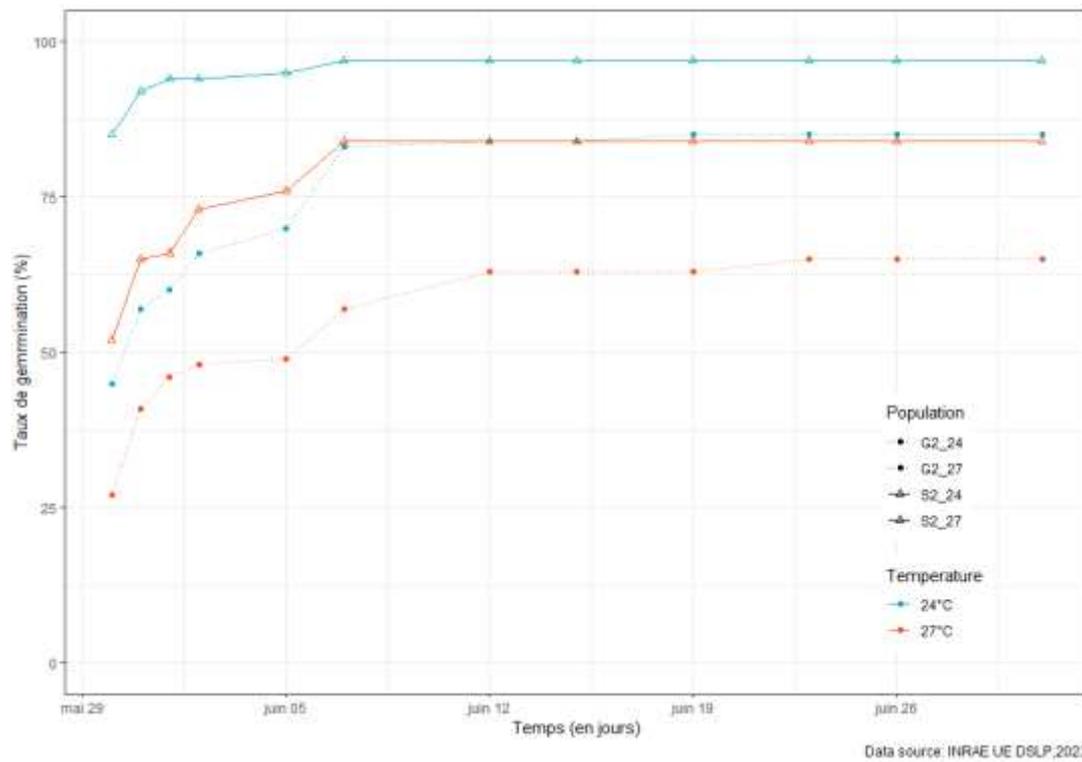


Figure 3 - Pourcentage cumulé de germination de *Ludwigia peploides* pendant 28 jours à deux températures différentes pour la population G2 et S2 de Saint-Laurent-de-la-Prée 24°C (ligne pleine), 27°C (pointillé). N=100

Préalable - Caractérisation météorologique de l'année 2022

L'année 2022 a été caractérisée par des températures bien au-dessus des normales de saison. L'expérimentation s'est déroulée de fin mai à début août, pendant de fortes chaleurs avec un mois de juin assez pluvieux et un déficit de pluviométrie de juillet à août.

Tableau 3 - Caractéristiques climatiques de l'année 2022

Mois	Normale		Ecart à la normale (°C)	Précipitations (mm)	ETP (mm)
	Tmoy (°C)	Tmoy (°C)			
Janvier	6,3	8,8	(+2,5)	53,0	5,8
Février	6,8	8,6	(+1,8)	18,5	21,0
Mars	9,2	10,6	(+1,4)	28,5	59,0
Avril	11,3	12,1	(+0,8)	0,0	82,7
Mai	15	17,6	(+2,6)	9,0	143,1
Juin	18	20	(+2,0)	83,5	150,7
Juillet	19,9	22,4	(+2,5)	7,0	187,3
Août	19,9	22,04	(+2,1)	11,0	143,2
Septembre	17,5	17	(+0,5)	61,0	72,6
Octobre	14,3	17,4	(+3,1)	33,0	45,7
Novembre	9,5	11,8	(+2,3)	107,0	17,2
Décembre	6,7	6,7	(0,0)	57,5	8,8

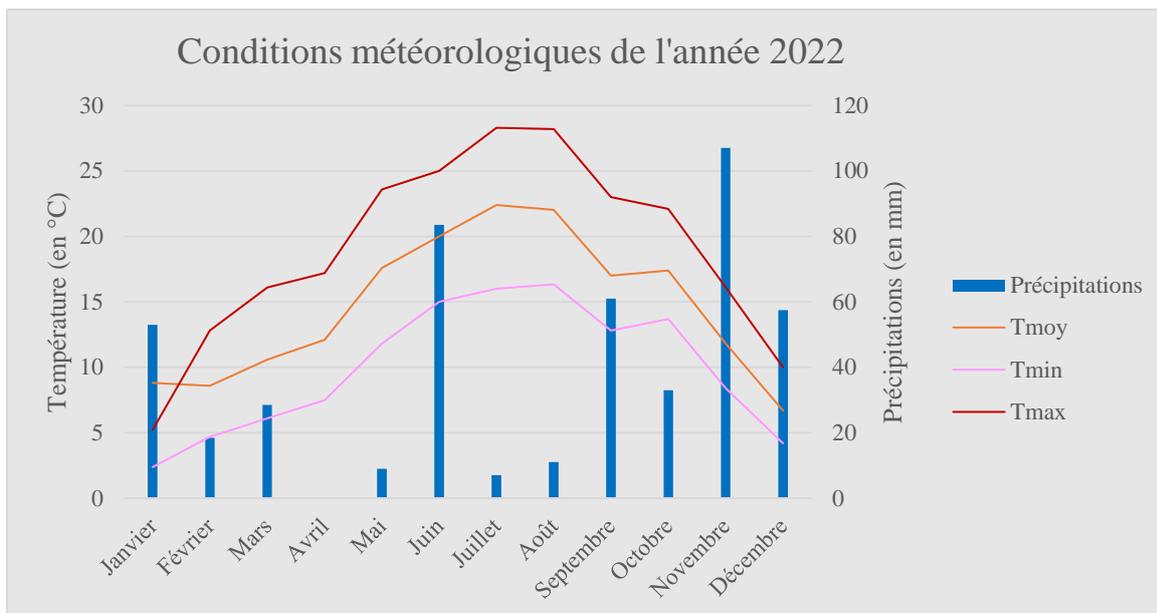


Figure 4- conditions météorologiques de l'année 2022

Expérimentations 2022 : Capacité de germination et de croissance de la jussie rampante sur sols agricoles (cultures et prairies) à partir de graines et de fragments (Charvet, 2022)

L'objectif de cette expérimentation est de tester la capacité de germination et/ou de croissance de la jussie (*Ludwigia peploides*) sur plusieurs types de sols caractéristiques des marais charentais (sol cultivé ou sol prairial) en fonction de deux types de reproduction de la jussie (sexuée : graines et asexuée : fragments de tiges).



L'expérimentation, qui a duré deux mois et demi, a été mise en place en extérieur sur le site de l'unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée.

Pour l'expérimentation « sol cultivés », nous avons retenus deux types de sols appelés par la suite « sol de marais » et « sol de groie ». Le plan expérimental est conçu en blocs avec 3 répétitions par bloc, l'ensemble est randomisé. Le placement aléatoire permet de limiter un effet position entre les pots. Les blocs permettent de limiter l'erreur expérimentale (Figure 5). Tous les traitements ont été arrosés de façon identique tout au long de l'expérimentation (apport de 450ml d'eau trois fois par semaine par système de goutte à goutte). Les pots ont aussi bénéficié de l'eau des précipitations.

Pour l'expérimentation « prairies », nous avons fait le choix de séparer les cylindres 'bosse' des cylindres 'jas'. En effet, le jas correspondant à une partie de la prairie souvent inondée, les cylindres 'jas' ont été placés dans un bassin contenant en permanence une lame d'eau (15 cm) afin de reproduire les conditions réelles. Concernant le sol de bosse, un placement aléatoire des pots selon trois blocs a été conçu. Les cylindres 'bosses' ont été arrosés avec le même système que les sols cultivés.

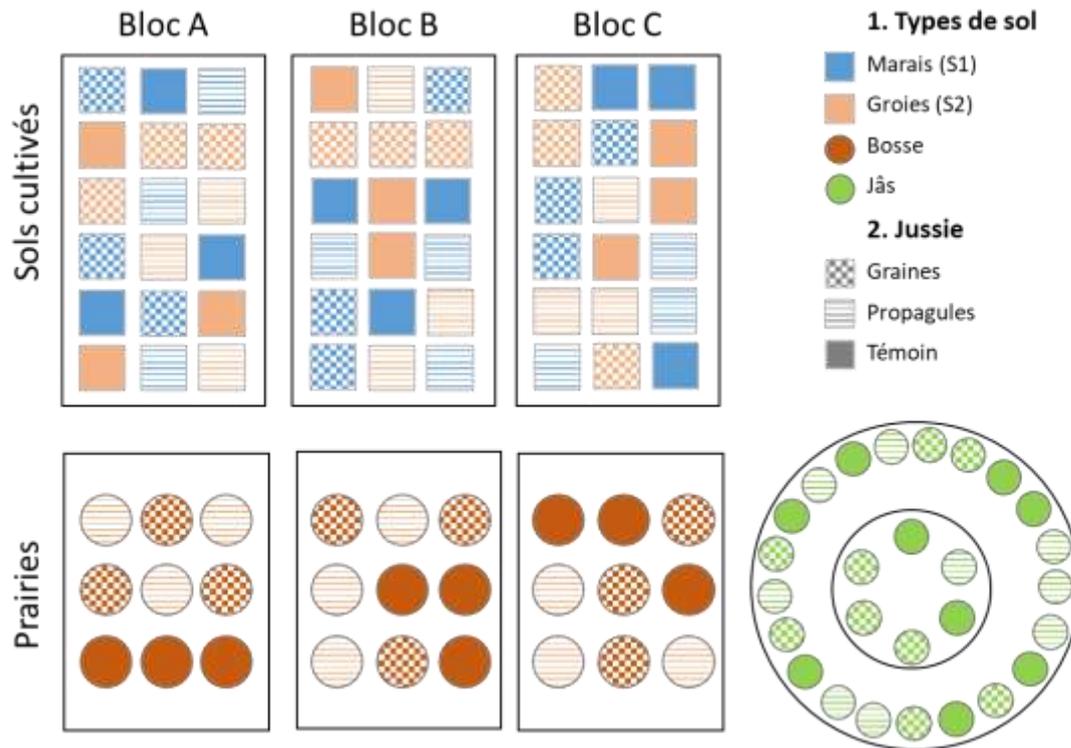


Figure 5 - Plan expérimental de l'expérimentation 2022

Le matériel mobilisé pour les expérimentations 2022 comprend des échantillons de sol, des capsules contenant des graines de jussie ainsi que des fragments de tige de jussie ou « propagules ». Les sites de prélèvement sont donnés dans le tableau ci-dessous (Tableau 5). Les méthodes de prélèvement sont détaillées ci-après.

Tableau 5 - Matériel prélevé pour l'expérimentation 2022 (Charvet, 2022)

Site de prélèvement	Matériel collecté	
	Sol	Matériel biologique
St-Hippolyte (17)	Sols cultivés : Marais et Groie	Graines
St-Just-Luzac (17)	Prairie : Bosse et Jas	Graines
		Fragments

◆ Expérimentation « Graines sur sol cultivés »

▪ Sols cultivés

Les sols cultivés ont été prélevés à St-Hippolyte (17) le 11 avril 2022. Nous avons prélevé un sol de marais (S1) et un sol de groie (S2) (Tableau 6, Figure 6). Les deux sols prélevés sont nus, il n'y a pas de couvert végétal. Le sol de marais (S1) est un sol argileux (54%) caractérisé par un ratio C/N = 8.5. La teneur en matière organique du sol est faible mais les conditions restent favorables pour une activité biologique fonctionnelle. Le sol de groie (S2) est un sol limoneux argilo-sableux caractérisé par un ratio C/N à 9.5. La teneur en matière organique est satisfaisante, les conditions sont favorables pour une activité biologique fonctionnelle (Larca 2022, Annexe 1 et 2).

Tableau 6 - Caractéristiques des sols agricoles de Saint-Hippolyte (LARCA, Annexe 1 et 2)

Caractéristiques du sol	Marais (S1)	Versant ou Groie (S2)
Texture	Argileuse	Limono-argilo-sableux
Argile (%)	53.7	24.1
Limons (%)	42.6	50.8
Sable (%)	2.1	9.2
C/N	8.5	9.5

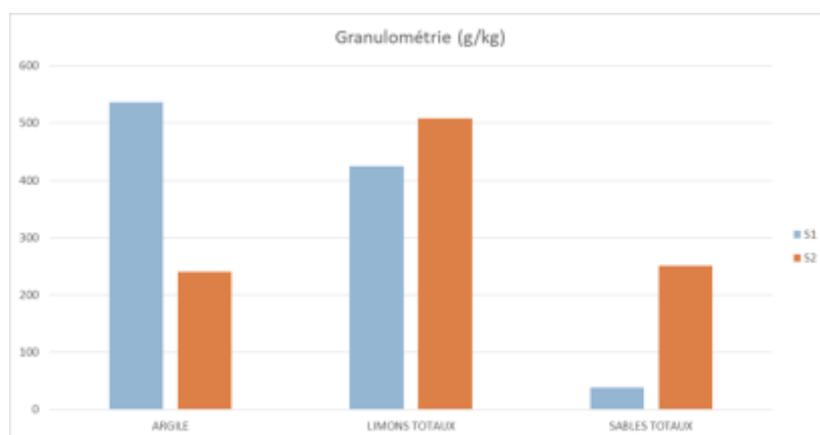


Figure 6 - Granulométrie des sols agricoles de Saint-Hippolyte



Photo 1 - Aspect visuel des sols agricoles de Saint-Hippolyte

▪ Graines de jussie

Les capsules de *L. peploides* ont été collectées le 22 octobre 2021 dans des canaux de la commune de St-Hippolyte (population H). Pour chaque capsule, 20 graines ont été extraites en privilégiant les graines situées au centre de la capsule. Ainsi, 540 graines de la population H ont été extraites et conservées en tube eppendorf à 4 °C avant le lancement de l'expérimentation.

▪ Plan d'expérience

Les graines de jussie ont été semées le 23 mai 2022 à une densité de 30 graines dans des pots de 300cl (L x L x H ; 15 x 15 x 18.5) remplis de sol S1 ou de sol S2.

Chaque modalité contient 9 réplicats ainsi que les pots « témoin ».

- 1- M : sol de marais (S1)
- 2- G : sol de groie (S2)

▪ Facteurs abiotiques mesurés

Une station climatique complète est présente sur le site de l'Unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée. Ainsi, la température moyenne journalière (moyenne calculée à partir de la température maximale et minimale dans la journée) en degrés Celsius, la hauteur de précipitation par jour de pluie en millimètres et le rayonnement global en Joules/cm² sont relevés sur toute la durée des expérimentations.

Une mesure d'humidité a été faite régulièrement à l'aide d'une sonde ML3 étalonnée afin de s'assurer que l'humidité restait plus ou moins constante tout au long de l'expérimentation.

▪ Paramètres morphologiques mesurés

Afin d'évaluer l'impact de nos deux sols sur la capacité de germination et de croissance de la jussie, nous avons suivi plusieurs paramètres biologiques :

- Suivi de la germination :

Les germinations, ainsi que la mortalité des plantules ont été suivi pendant 1 mois, tous les 3 jours à compter de la date de semis et ce jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible d'identifier les nouvelles germinations.



Photo 2 - Germinations de jussie dans un pot

- Suivi de la croissance :

La croissance des plantes a été mesurée dès l'arrêt du suivi des germinations. Le taux de recouvrement a été estimé 1 fois par semaine à l'aide de photo-interprétation et du logiciel Canopeo.



Photo 3 - Photo prise avec le logiciel Canopeo

- Mesure des paramètres morphologiques finaux :

A la fin des 2 mois et demi d'expérimentation, nous avons réalisé plusieurs mesures dans chaque pot. La longueur de la ramification principale a été mesurée. Les individus ont été dénombrés dans chacun des pots des différents traitements. La mesure de la masse fraîche a été réalisée. Les racines et les parties aériennes ont été séparées afin d'obtenir les masses fraîches aérienne et souterraines produites par pots pour chaque traitement.



Photo 5 - Mesure de longueur



Photo 4 - Mesure de masse fraîche

▪ Résultats

On remarque que sur le sol de groie S2 on observe un meilleur taux de germination final que sur le sol de marais S1 (60% contre seulement 30%). La cinétique de germination est relativement similaire entre les deux sols (Figure 7). La valeur asymptotique est atteinte au même moment. Les tests statistiques réalisés sur les données finales de l'expérimentation ont montré que les résultats obtenus sur les deux sols étaient significativement différents pour le nombre d'individus et la masse totale finale (Figure 7, Figure 8). Cela signifie que le type de sol influence la capacité de germination et de croissance de la jussie. Le sol de groie

semble plus propice à la germination que le sol de marais. A l'issu de l'expérimentation, les individus restants avaient atteint, pour la majorité, le stade de floraison/fructification.

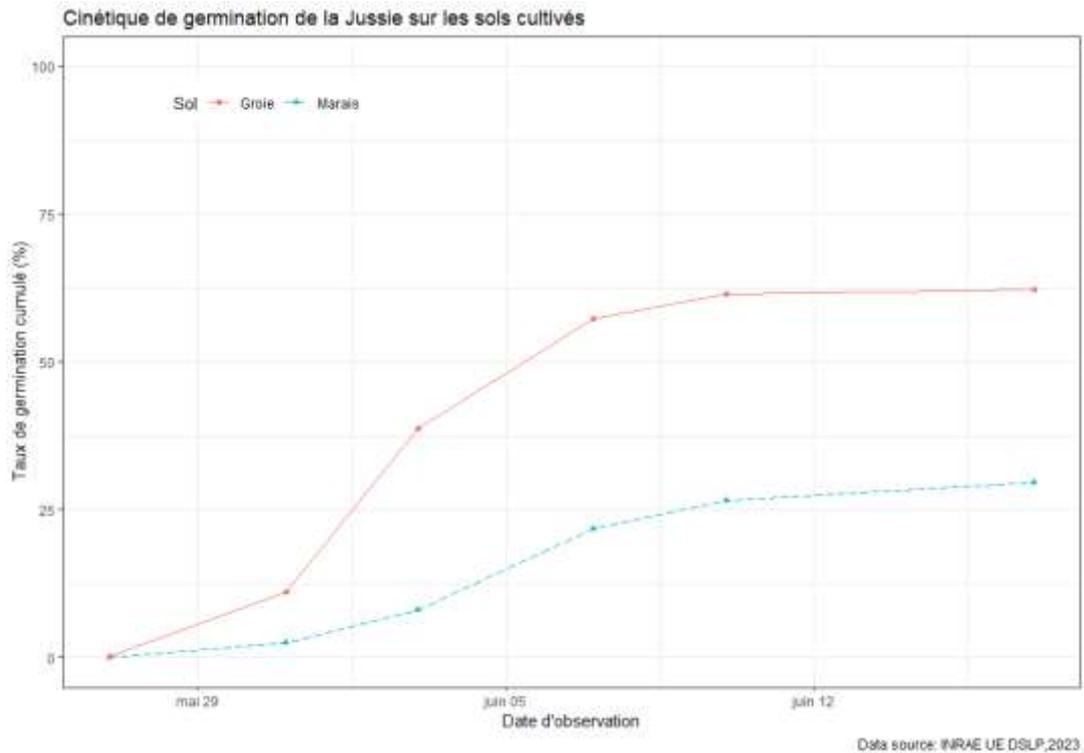


Figure 7 - Cinétique de germination de la jussie sur les sols cultivés

Effet du sol agricole sur le nombre d'individu final

Kruskal-Wallis, $\chi^2(1) = 11.64, p = 0.00064, n = 18$

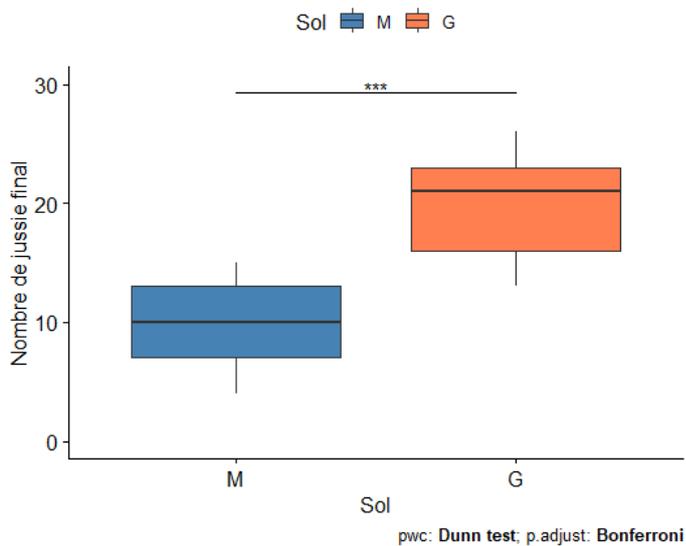


Figure 8 - Effet du sol sur le nombre d'individus final

Test statistique montrant des différences très significatives (***) entre les deux sols - M : sol de marais ; G : sol de versant/groie

Effet du sol agricole sur la masse totale

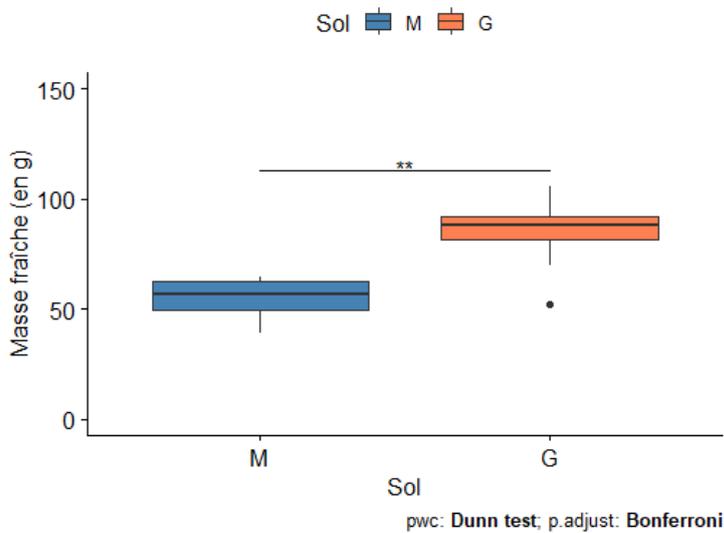
Kruskal-Wallis, $\chi^2(1) = 9.84$, $p = 0.0017$, $n = 18$ 

Figure 9 - Effet du sol sur la masse fraîche totale

Test statistique montrant des différences significatives (**) entre les deux sols. M : sol de marais ; G : sol de versant/groie

Ainsi, sur un sol nu, et en conditions favorables de température et d'humidité, la jussie peut germer, se développer et fructifier. On observe un effet de la nature du sol sur la production de biomasse de jussie. La présence de graine sur un sol nu agricole présente donc un risque de colonisation du milieu par la jussie.



◆ Expérimentation « Graines sur sol de prairie » (Bosse et Jas)

▪ Sols prairies

Les sols de prairie ont été prélevés à Saint-Just-Luzac (17) dans le marais de Brouage les 17 et 19 mai 2022. Les deux sols sont des échantillons de bosse et de jas qui présentaient un couvert végétal déjà installé (couverture végétale d'au moins 80%). Les sols de prairie ont été prélevés par carottage. Les carottes de 20 cm de hauteur et 16 cm de diamètre ont été conservées dans les tubes PCV qui ont servi aux prélèvements. Les prélèvements ont eu lieu au mois de mai 2022, période marquée par une intense et précoce vague de chaleur. En temps normal, les jas sont inondés jusqu'aux fortes chaleurs de l'été, étant parfois même directement connectés aux fossés. Le jour des prélèvements, les jas étaient à sec. Les bosses ne sont quasiment jamais inondées du fait de leur altitude plus haute. Les prairies de jas et de bosses présentent donc une couverture végétale bien distincte avec une prairie mésophile sur les bosses et une prairie hygrophile et mésohygrophile en partant du centre vers les bords de jas.

Une analyse de terre de bosse a été réalisée. Le sol de bosse (P1) est un sol argileux caractérisé par un ratio C/N à 7.8 (Tableau 7). La teneur en matière organique est faible. La matière organique est rapidement décomposée (Larca 2022, Annexe 3).



Photo 6 - Tarière pour les prélèvements de blocs de sols de prairie avec la végétation

Tableau 7 - Caractéristiques du sol de prairie de Saint-Just-Luzac (LARCA, Annexe 3)

Caractéristique du sol	Bosse
Texture	Argileuse
Argile (%)	46.7
Limons (%)	36.6
Sable (%)	2.3
C/N	7.8

La flore présente dans les pots « jas » et « bosse » a été caractérisée par la méthode dite « des poignées » (de Vries et de Boer, 1959). Sur toute la surface du pot les végétaux présents sont identifiés. L'observateur attribue à chacune des espèces recensées une note d'abondance variant de 0,5 à 10 en fonction du volume qu'elle occupe. Le sol nu, l'eau et la mousse présents sur la surface observée sont aussi évalués avec cette notation mais en fonction du recouvrement et non du volume occupé. La somme des notes par pot doit être égale à 10. Cette méthode, qualifiée de semi-quantitative, classe les espèces par rang d'abondance relative. L'inventaire a été réalisé sur un échantillon de 9 pots par catégorie, jas ou bosse.

La flore des pots correspondant aux jas (Tableau 8) est caractéristique des végétations longuement inondées en hiver des marais de Brouage, très hygrophiles, avec l'agrostide stolonifère (*A. stolonifera*), l'éléocharis à une glume (*E. uniglumis*), le scirpe maritime (*B. maritimus*) et le grand scirpe glauque (*S. tabernaemontani*).

Le sol nu dans lequel les fragments de jussie ont été plantés représente un peu plus de 20 % de la surface des pots.

Tableau 8 - Composition floristique moyenne et importance du sol nu dans les pots dont le sol a été prélevé dans un jas

Espèces	%
sol nu	21,6
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	22,2
<i>Eleocharis uniglumis</i> (Link) Schult.	18,8
<i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla	16,1
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C.C.Gmel.) Palla	12,2
<i>Carex divisa</i> Huds.	6,7
<i>Juncus articulatus</i> L.	2,2
<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H.Raven	0,2
Total	100

La flore des pots correspondant aux bosses (Tableau 9) est caractéristique des végétations de bosse mésophile piétinée des marais de Brouage, avec beaucoup de ray-grass anglais (*L. perenne*), de la laïche divisée (*C. divisa*) et du brome variable (*B. commutatus*). Le sol nu dans lequel les propagules de jussie ont été plantées représente près de 14 % de la surface des pots.

Tableau 9 - Composition floristique moyenne et importance du sol nu dans les pots dont le sol a été prélevé dans sur une bosse

Espèces	%
sol nu	13,9
<i>Lolium perenne</i> L.	34,4
<i>Carex divisa</i> Huds.	13,3
<i>Bromus commutatus</i> Schrad.	9,4
<i>Agrostis capillaris</i> L.	8,3
<i>Trifolium repens</i> L.	6,1
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	5,0
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. ex Nevski	2,8
<i>Hordeum secalinum</i> Schreb.	2,8
<i>Cynosurus cristatus</i> L.	2,2
<i>Holcus lanatus</i> L.	1,1
<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0,6
<i>Bellis perennis</i> L.	0,1
Total	100

▪ Graines de jussie

Le processus de collecte et traitement des graines est identique à celui présenté dans l'Expérimentation « Graines sur sol cultivés » § p 20. Ainsi, 540 graines de la population SJL ont été extraites et conservées en tube eppendorf à 4 °C avant le lancement de l'expérimentation.

▪ Plan d'expérience

Les graines de jussie ont été semées avec une densité de 30 graines dans les cylindres remplis de sol de prairie bosse ou de jas.

Chaque modalité contient 9 réplicats ainsi que les pots « témoin ».

- 1- B : sol de prairie bosse
- 2- J : sol de prairie jas

▪ Facteurs abiotiques mesurés

La mesure des facteurs abiotiques est la même que pour les sols cultivés en ce qui concerne les données météo (§ p 21). En ce qui concerne l'humidité des sols, malgré un arrosage fréquent, le sol de bosse était extrêmement sec et n'a pas pu s'humecter. L'humidité n'a donc pas pu être mesurée sur les bosses. Sur les jas, la mesure d'humidité à l'aide de la sonde ML3 a permis de s'assurer que les pots restaient bien à saturation.

▪ Paramètres morphologiques mesurés

La mesure des paramètres morphologiques est la même que pour les sols cultivés (se référer au § p 21).

▪ Résultats

On remarque que de manière générale le taux de germination est faible voir nul sur ces deux sols de jas ou de bosse. Cependant, on constate qu'il y a eu quelques germinations sur le sol de jas (13% au maximum avant d'observer des mortalités) tandis qu'aucune graine de jussie n'a poussé sur le sol de bosse.

Les tests statistiques réalisés sur les données finales de l'expérimentation ont montré que les résultats obtenus sur les deux sols étaient significativement différents. Le sol de jas semble plus propice à la germination de la jussie que le sol de bosse. Toutefois, au cours de l'expérimentation, il a été observé que la bosse était tellement sèche que l'eau ne pouvait pas pénétrer dans le sol et ruisselait en surface. Le facteur « humidité » explique très certainement la dynamique différente de germination.

Le faible taux de germination de la jussie globalement observé sur les sols de prairie pourrait s'expliquer par la présence d'un couvert végétal bien implanté sur les sols de prairie. Les individus n'ont pas dépassé le stade végétatif tout au long de l'expérimentation. Une étude intégrant une zone de sol de prairie nue aurait permis d'évaluer l'effet du couvert végétal sur la capacité de germination et de croissance de la jussie.

Ainsi, il semblerait qu'en présence d'un couvert végétal de prairie permanente bien développé, la jussie est limitée dans sa germination et sa croissance.



Effet du sol prairial sur le nombre de jussie final

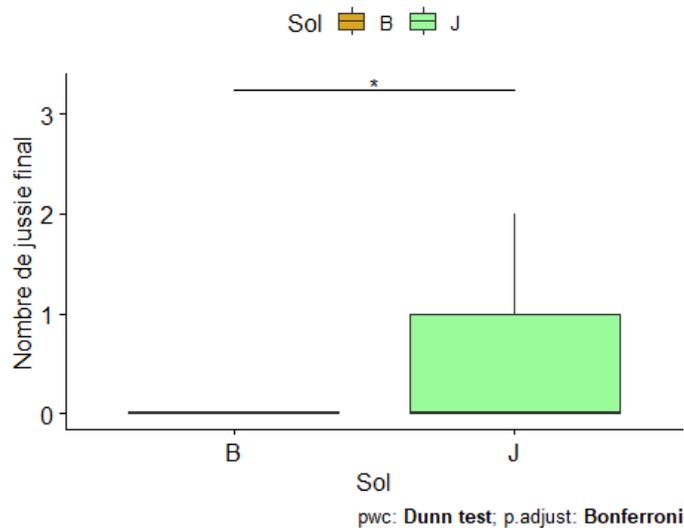
Kruskal-Wallis, $\chi^2(1) = 4.78, p = 0.029, n = 18$ 

Figure 10 - Effet du type de sol sur le nombre d'individus de jussie final.

B : sol de bosse ; J : sol de jas. Test statistique montrant des différences faiblement significatives (*) entre les deux prairies sur le nombre d'individus finaux.

◆ Expérimentation fragment de tige ou « Propagules »

▪ Sols cultivés et de prairies

Les quatre sols mobilisés sur les « Expérimentation « Graines sur sol cultivés » (voir § p 20) et «

Expérimentation « Graines sur sol de prairie » (Bosse et Jas) (voir § p 25) ont été utilisés pour cette expérimentation.

- **Fragments de tiges de jussie avec apex (ou Propagules)**

Les fragments ont été collectées le 19 mai 2022 à Saint-Just-Luzac (marais de Brouage). Cette population a été déposée sur les quatre types de sols car aucun foyer de jussie n'a été trouvé à Saint Hippolyte. En laboratoire, des fragments de 7 cm depuis l'apex jusqu'au bourgeon ont été coupés. Les racines ont été retirées (Thouvenot et al., 2013). Ils ont ensuite été lavés et séchés rapidement dans de l'essuie-tout avant d'être pesés avec une balance de précision dans un récipient fermé afin d'éviter des biais de mesures dus à l'évapotranspiration. La masse obtenue a été arrondie au millième. Ainsi, 108 fragments ont été préparés.

▪ Plan d'expérience

Trois fragments de 7 cm de long ont été déposés dans les pots de sols cultivés et les cylindres de prairies. Chaque modalité contient 9 réplicats ainsi que les pots « témoin ».

- 1- B : sol de prairie bosse
- 2- J : sol de prairie jas
- 3- M : sol de marais (S1)
- 4- G : sol de groie (S2)

▪ Facteurs abiotiques mesurés

La mesure des facteurs abiotiques est la même que pour l'Expérimentation « Graines sur sol cultivés » (voir § p 21) et l'Expérimentation « Graines sur sol de prairie » (Bosse et jas) (voir § p27), respectivement sur sols agricoles de culture et sols de prairies.

▪ Paramètres morphologiques mesurés

Afin d'évaluer l'impact de nos deux sols sur la capacité de d'implantation et de croissance des fragments de jussie, nous avons suivi plusieurs paramètres biologiques :

- Suivi de l'implantation et de la mortalité :

Ces suivis ont été menés pendant 1 mois, une fois par semaine à compter de la date de dépôt.



Photo 7 - Fragments de jussie implantés et non implantés dans un pot

- Suivi de la croissance :

La croissance des plantes a été mesurée à partir du 23 juin 2022 pendant 1 mois et demi. Sur chaque fragment implanté, la longueur des 3 ramifications principales a été mesurée une fois par semaine.

- Mesure des paramètres morphologiques finaux :

Se référer au § p 21

▪ 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). Afin d'analyser les résultats, nous avons utilisé le test de Dunn.

▪ Résultats

On constate que, globalement, le taux de survie des fragments est très faible voir nul sur les différents sols. Sur les 324 fragments déposés, seulement 7 ont survécu. Les fragments n'ont survécu jusqu'à la fin de l'expérimentation que sur les sols de marais et de groie.

Ceci peut s'expliquer par différents facteurs : la couverture végétale des sols a sûrement joué un rôle important. En effet, les sols de prairie bénéficiaient d'un couvert tandis que les sols cultivés étaient des sols nus.

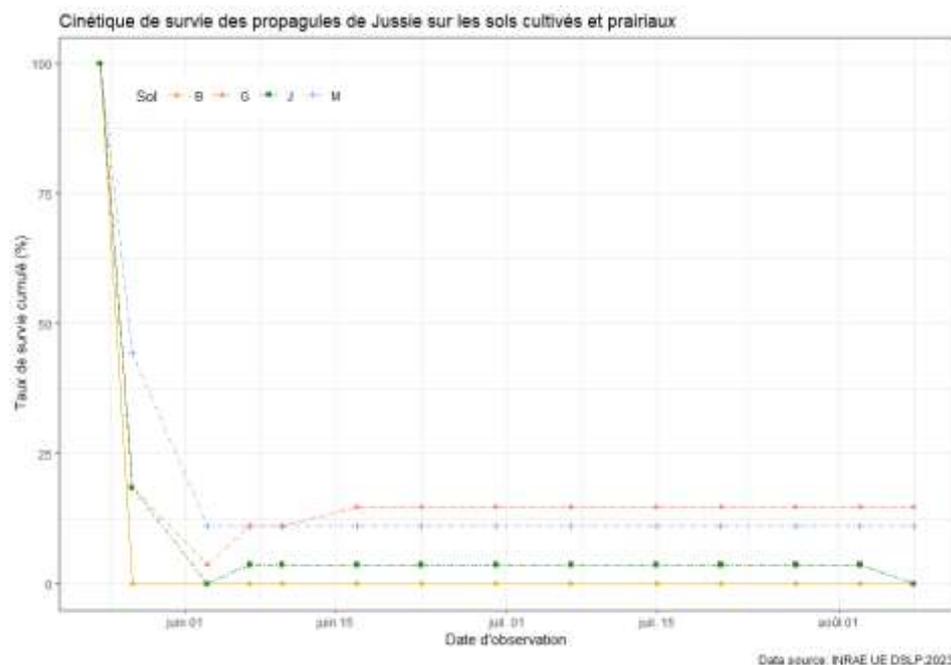


Figure 11 - Cinétique de survie des propagules de jussie sur les sols cultivés et prairiaux.

Toutefois, malgré le faible taux de survie, sur les 7 individus finaux, 5 individus ont atteint le stade de fructification. Ceci indique que lorsque le fragment survit, la jussie arrive à maturité dans 70% des cas.

Les analyses statistiques n'ont pas permis de mettre en évidence un effet significatif du sol sur la survie ; le faible taux de survie ne permet pas d'avoir des analyses robustes.

Vu le faible taux de reprise, les tests statistiques n'ont pas montré de différences significatives entre les différents sols vis-à-vis du nombre de reprises, de la masse totale et de la longueur de la ramification principale.

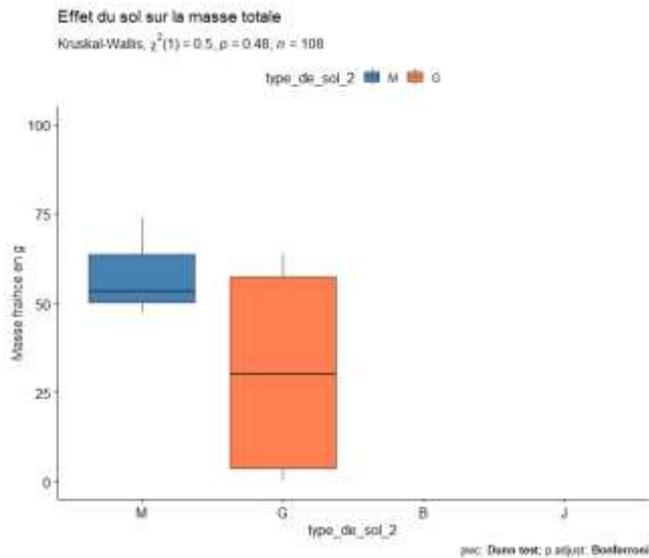


Figure 12 - Effet du type de sol sur la masse totale de jussie issue de propagules.

M : sol de marais ; G : sol de versant/groie ; B : prairie de bosse ; J : Prairie de jas. Test statistique montrant l'absence de différence significative entre les différents sols sur la masse totale de jussie produite

Le taux de reprise végétative de jussie sur les sols est relativement faible en comparaison avec celui obtenu pour les **graines**. **Cependant, lorsqu'un fragment arrive à survivre et à s'implanter**, il atteint le stade fructification et peut, de ce fait, produire des fruits fertiles et engendrer une nouvelle population. Le risque de colonisation **sur sol agricole n'est donc pas nul**.



◆ Discussion

L'expérimentation de l'année 2022 a permis de mettre en évidence plusieurs éléments :

- Dans un premier temps, les jussies *L. peploides* issues des marais charentais, ont la capacité (en conditions optimales de température et d'humidité) de se développer sur différents types de sols caractéristiques des sols argileux des marais charentais. Ces résultats confirment les travaux engagés depuis plusieurs années ayant conclu que *L. peploides* était très fructifère avec des ressources importantes allouées à la floraison et à la reproduction des graines (Ruaux *et al.*, 2009 ; Grewell *et al.*, 2016).
- Le type et la nature de sol influencent le taux de germination observé.
- La présence d'un couvert végétal sur le sol va impacter la capacité de germination et de croissance de la Jussie. Il semblerait qu'un couvert végétal de type prairie permanente diversifiée et dense permette de limiter le développement de la jussie.
- La reproduction sexuée semble plus propice à la colonisation de la jussie sur les sols nus que la reproduction asexuée. Cependant, il est important de préciser que l'année 2022 a été une année particulièrement chaude, notamment pendant la période de l'expérimentation. Ces fortes températures ont permis une germination rapide des graines (et sûrement une mort plus rapide des propagules).

◆ Conclusion

Les résultats des expérimentations conduites en 2022 ont été présentés aux partenaires en comité de suivi le 23 février 2023 (cf CR en Annexe 7). Au regard des premiers éléments, il a été décidé d'orienter les expérimentations 2023 autour de deux questions.

La première vise à poursuivre l'expérimentation de germination sur sol agricole du marais charentais en faisant varier le facteur « apport d'eau » pour mesurer l'impact de ce paramètre qui n'était pas limitant en 2022.

La seconde s'intéresse à une autre pratique de gestion répandue qui intéresse les partenaires. Il s'agit d'approcher le risque de propagation de jussie sous forme terrestre à partir de l'épandage des boues de curage des fossés des marais en bord de champs ; boues susceptibles de contenir des jussies sous forme végétative ou de graine.

Les partenaires précisent également qu'il est important d'adosser ces expérimentations à des observations dans les champs afin d'essayer également de se rapprocher de la réalité du terrain. Les suivis sur le terrain sont effectivement plus proches de la réalité mais on a une « boîte noire » sur les paramètres et facteurs d'influence qui rendent l'interprétation scientifique complexe. La mise en place de l'expérimentation sur le site INRAE de St-Laurent-de-la-Prée est une solution intermédiaire dans laquelle on contrôle certains facteurs en tentant de se rapprocher du terrain. C'est un compromis entre une approche plus analytique en laboratoire, où tous les paramètres sont maîtrisés et la demande des gestionnaires d'avoir une approche plus réaliste par rapport aux conditions du terrain.

Préalable- Caractérisation météorologique de l'année 2023

L'année 2023 a été caractérisée par un été pluvieux (168 mm cumulé sur les mois de juin, juillet) et des températures allant jusqu'à +3°C au-dessus de la normale. La période d'expérimentation de mai à fin juillet a été plus pluvieuse et moins chaude que la période 2022.

Tableau 10 - Caractéristiques climatiques de l'année 2023

MOIS	Normale T moy (°C)	Tmoy (°C)	Ecart à la normale (°C)	Précipitations (mm)	ETP (mm)
Janvier	6,3	6,8	+0,6	124,0	10,4
Février	6,8	6,2	-0,6	33,5	21,5
Mars	9,2	10,3	+1,1	106,0	52,0
Avril	11,3	12,2	+1,1	40,0	86,9
Mai	15,0	16,5	+1,5	36,0	141,8
Juin	18,0	21,0	+3,0	141,0	148,9
Juillet	19,9	19,9	0,0	27,5	146,2

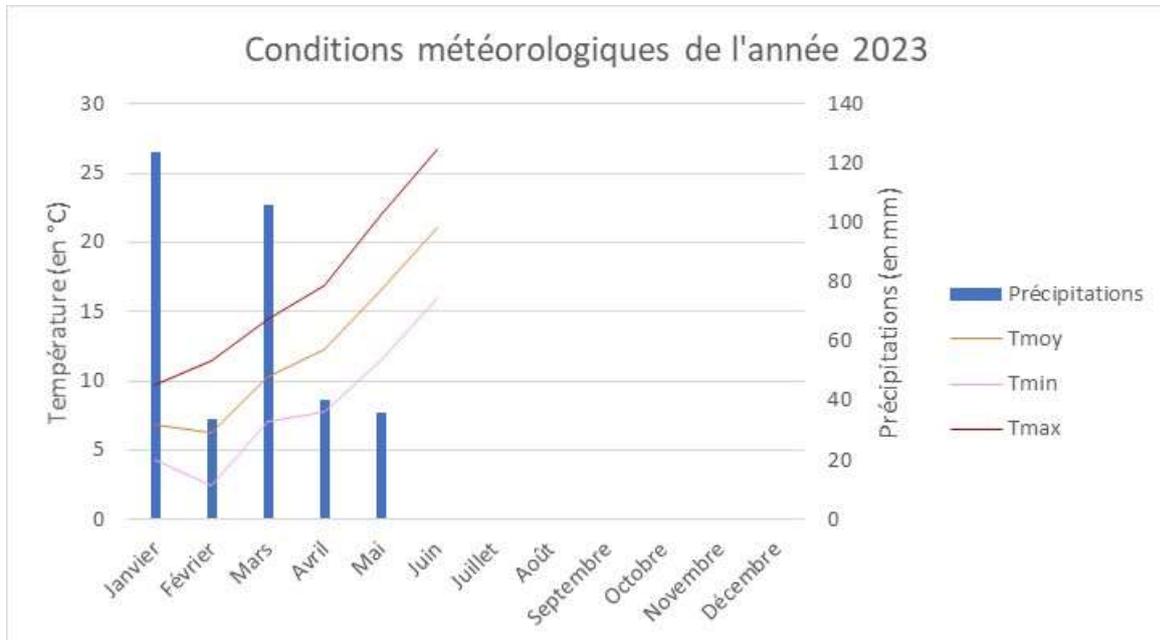


Figure 13 - Caractéristiques climatiques du début de l'année 2023

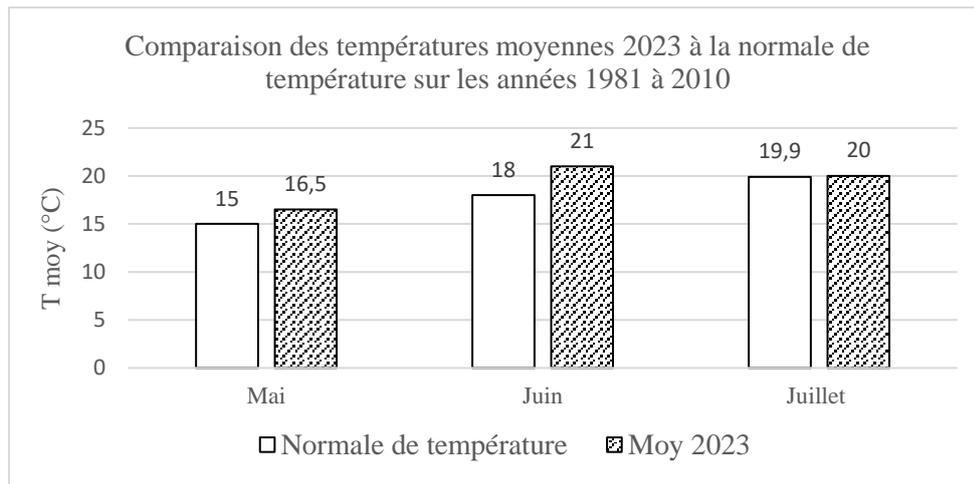


Figure 14 - Comparaison des températures moyennes mensuelles de l'année 2023 avec les normales de température (1981-2010) (Climatik, 2023)

Expérimentations 2023 (Boussou, 2023)

◆ Test de l'incidence d'apports d'eau sur la capacité de germination

L'objectif de cette expérimentation est d'approcher l'impact des apports d'eau sur la germination et la croissance des graines de jussie en sol cultivé. Suite à l'expérimentation conduite en 2022, nous avons retenu le sol de groie sur le même site que celui utilisé en 2022 à St-Hippolyte et qui avait montré les taux de germination les plus élevés.



▪ Sol cultivé

Le sol utilisé dans cette expérimentation est un sol cultivé (S2). Il provient d'une parcelle agricole située à St-Hippolyte. Le sol a été prélevé en mars 2023, après un labour. Les terres de groies sont des terres limono-argilo-sableuses. 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 4).

▪ Graines de jussie

Pour les besoins de l'expérimentation, une population de *L. peploides* a été sélectionnée. Elle provient des fossés attenants aux parcelles d'INRAE à Saint-Laurent-de-la-Prée (parcelle A10_2). Les capsules mûres ont été prélevées en octobre 2022 sur des individus. La collecte a été réalisée sur des individus espacés de plusieurs mètres les uns des autres afin d'avoir une hétérogénéité d'individus. La zone de collecte des capsules n'est pas la même que celle choisie pour l'expérimentation 2022 car il n'y avait pas de jussies présente. 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). Les graines ont été prélevées préférentiellement au centre de la capsule afin d'éviter l'effet « extrémité ». Les graines extraites ont ensuite été conservées au réfrigérateur (2 à 4°C) jusqu'au lancement de l'expérimentation.

▪ Plan d'expérience

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 cm) remplis de terre de groie S2. 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 (Figure 15). Le placement aléatoire permet de limiter un effet position entre les pots. Les blocs permettent de limiter l'erreur expérimentale et de mettre en place les réplicats nécessaires pour la robustesse de l'expérimentation.

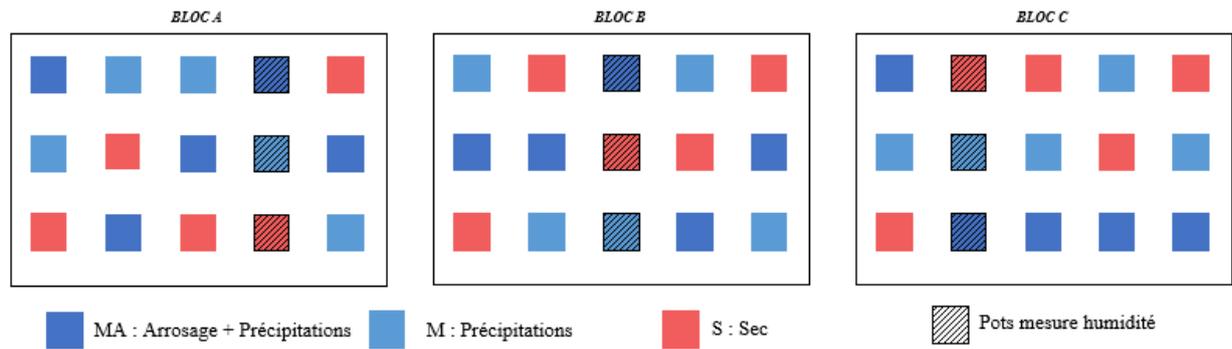


Photo 8 - Dispositif expérimental à INRAE en 2023

Trois modalités ont été testées :

- 1- MA : Arrosage au goutte à goutte et soumis aux précipitations. Le pot est maintenu en conditions humides.
- 2- M : Apport d'eau uniquement par les précipitations.
- 3- S : Pas d'apport d'eau. La modalité S a été maintenue 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.



Photo 9 - Couvercles en plastique transparent permettant de protéger les pots S de l'apport d'eau par les précipitations

▪ Facteurs abiotiques mesurés

Une station climatique 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 relevées.

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 ML3 dûment étalonnée.

Afin de vérifier la viabilité des graines sous couvercle à l'issue de l'expérimentation, les pots secs ont également été arrosés. Les graines se sont mises à germer en présence d'eau.

▪ Paramètres 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 faites sur le terrain a été effectuée.

- Suivi morphologique :

Au cours de l'expérimentation, une mesure de traits morphologiques a été réalisée pour chaque traitement. A partir du 03 juillet 2023 la mesure de la ramification la plus longue a été prise pour un 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 des mesures 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 pot 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 contenue dans les végétaux. La mesure de la masse sèche a été réalisée à l'issue des 48 heures de séchage.

▪ Analyse statistique

Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide de R Studio. Les représentations graphiques ont été réalisées sur R Studio 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

La cinétique de germination (Figure 16) met en évidence un décalage de germination entre les 3 traitements. Des germinations sont apparues dès 8 jours après le semis dans les pots arrosés (MA) tandis qu'il s'est écoulé 20 jours avant l'observation de la première germination dans les pots soumis à la seule météo (M). Aucune germination n'a été observée sur sol sec (S). De plus, le taux final de germination est largement supérieur dans les pots arrosés (MA) (64% de germination) comparé à celui des deux autres traitements : 8% pour les pots « météo » -M et 0% pour les pots sans apport d'eau-S. Dès le premier jour, un taux de germination de 47% est observé sur les pots arrosés -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 août. 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 août.

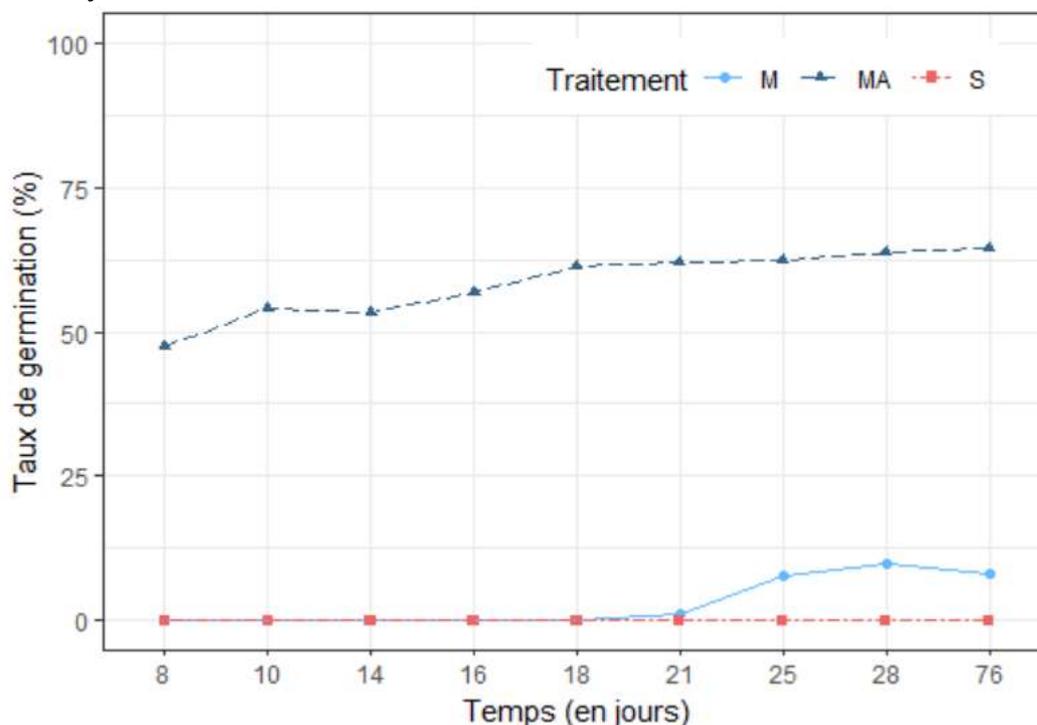


Figure 16 - Cinétique de germination de la jussie en fonction des traitements arrosage

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

Il existe un effet hautement significatif de l'humidité sur les traits de jussie (test KW : $p < 0.001$, Tableau 11). Le nombre d'individus final (Figure 17, Tableau 11), la masse sèche totale (Figure 18), aérienne et souterraine et la longueur des ramifications mesurées (Figure 19) sont significativement plus élevées dans le cas d'un sol humide arrosé que dans le cas d'un sol alimenté uniquement par l'eau des précipitations. 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 soumis aux précipitations. La même tendance s'observe quant au nombre d'individu final. En moyenne, 19 individus ont germé dans les pots arrosés contre seulement 2 dans les pots « météo ». Aucun individu n'a été noté sur le sol sec (Annexe 5).

Tableau 11 - Réponse des traits morphologiques de la jussie aux différents traitements

MA : arrosé, M : soumis aux précipitation, S, sans eau. (m) : moyenne et écart-type. Les moyennes en gras sont les moyennes les plus hautes.

Traitement	Nombre d'individus final	Longueur ramification (cm)	Masse sèche aérienne (g)	Masse sèche souterraine (g)	Masse sèche totale (g)
MA	19,3 ± 3,06	15,5 ± 2,74	4,61 ± 0,59	3,42 ± 0,53	8,03 ± 0,87
M	2,4 ± 1,68	2,71 ± 1,42	0,11 ± 0,08	0,08 ± 0,06	0,18 ± 0,14
S	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
KW_test	P_val	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

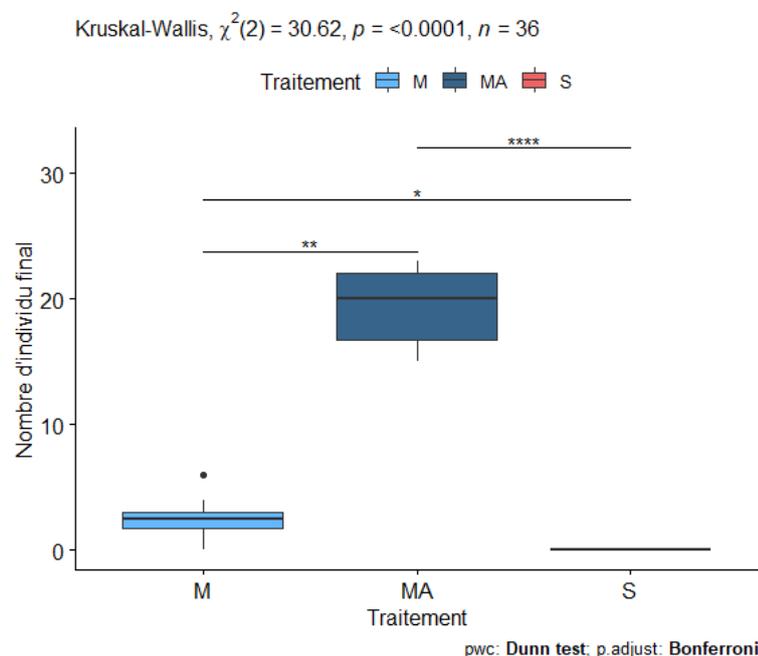


Figure 17 - Effet du traitement arrosage sur le nombre final de jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn).

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

Tests statistiques montrant des différences très significatives (****) entre les modalités sans et avec apport d'eau, et significatives (**) entre les pots arrosés et ceux soumis à précipitations

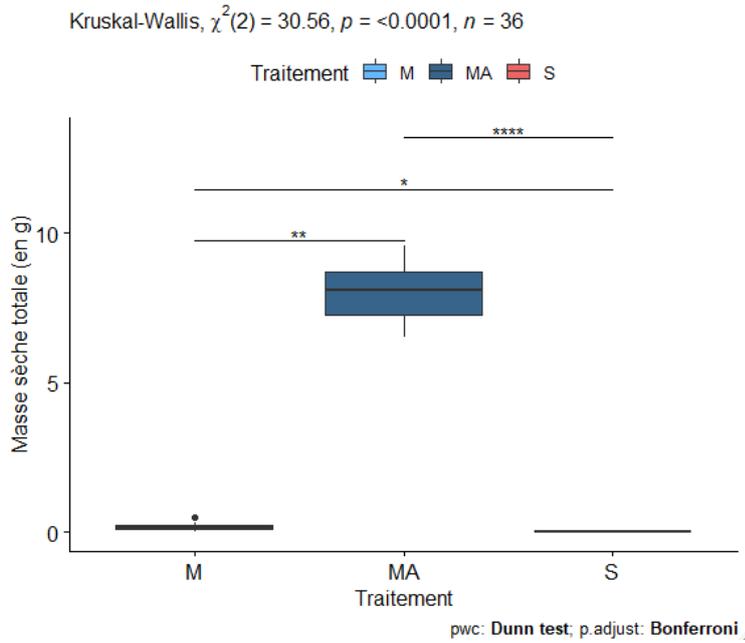


Figure 18 - Effet du traitement sur la biomasse créée de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn).

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

Tests statistiques montrant des différences très significatives (****) entre les modalités avec et sans apport d'eau, et significatives (**) entre les pots arrosés et ceux soumis à précipitations

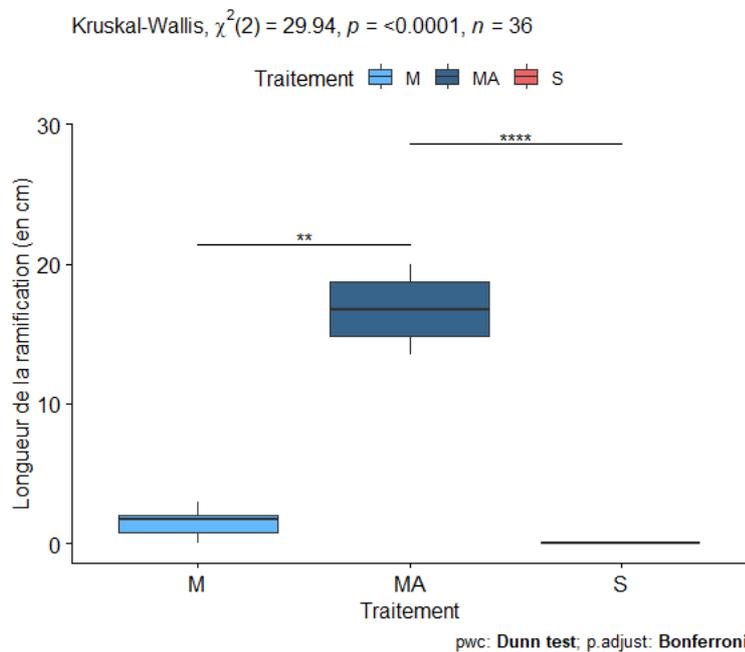


Figure 19 - Effet du traitement sur la croissance de la jussie. Comparaison par paire (Test de Dunn)

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

Tests statistiques montrant des différences très significatives (****) entre les modalités avec et sans apport d'eau, et significatives (**) entre les pots arrosés et ceux soumis à précipitations

Lorsque l'on regarde le taux d'humidité du sol mesurée (Figure 20), on constate que le sol des pots arrosés - 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 des pots météo-M a fluctué pendant la période expérimentale. On observe 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 des pots secs 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 (Figure 21, Figure 22).

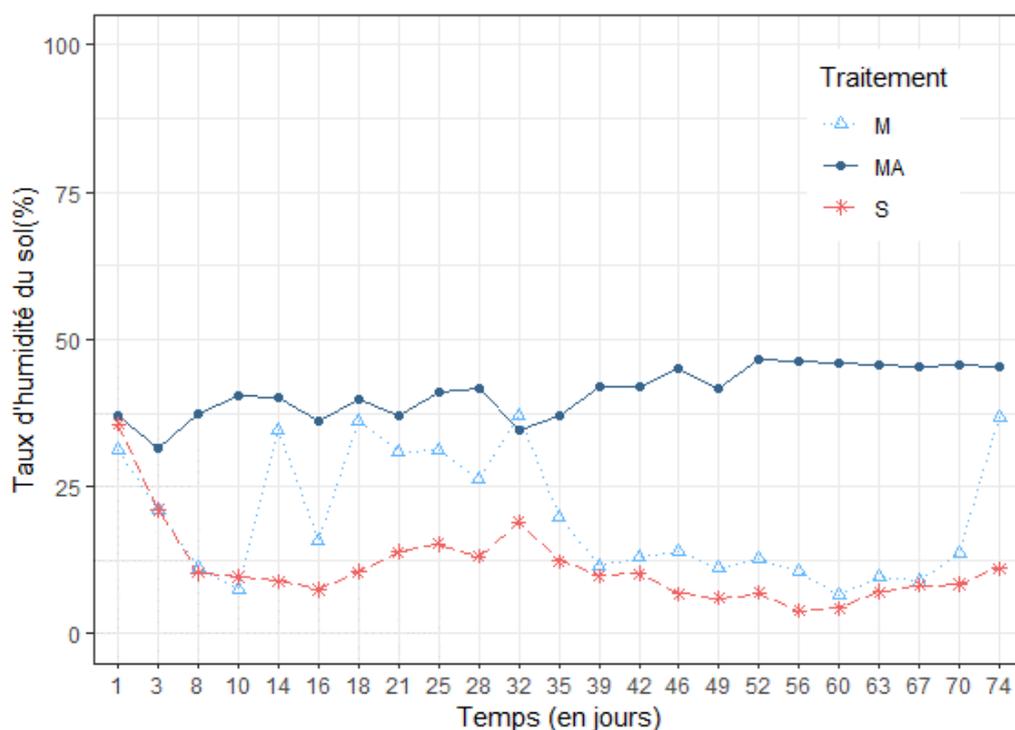


Figure 20 - Evolution du taux d'humidité dans le sol des différents traitements pendant 74 jours.

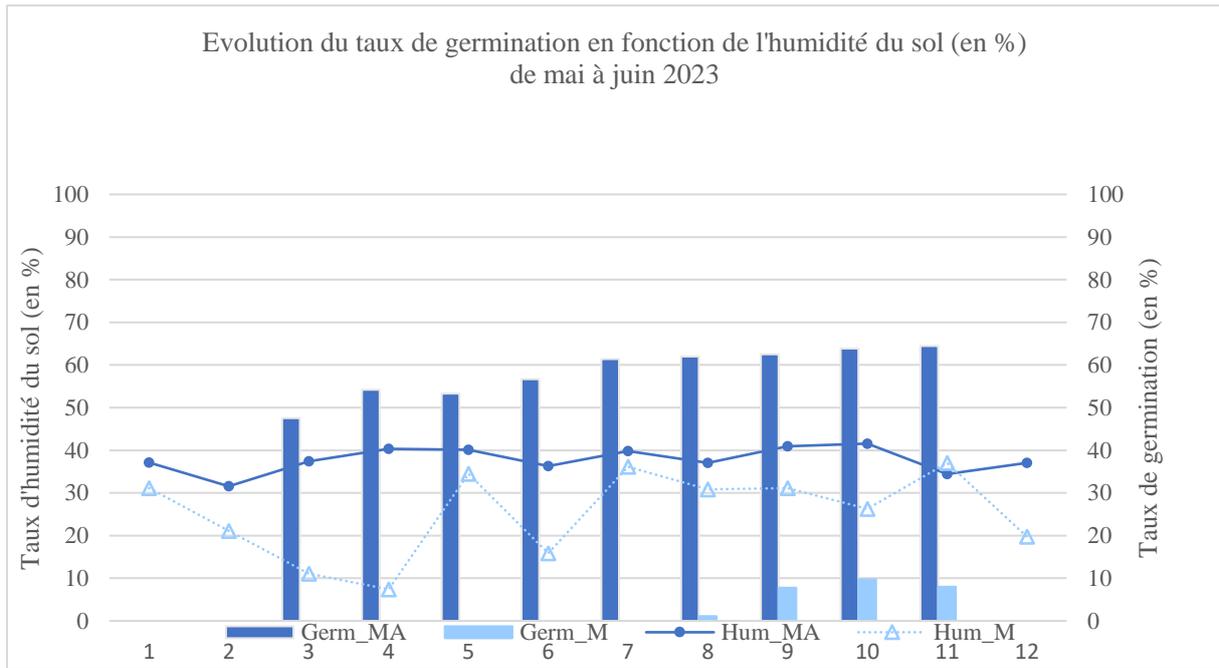


Figure 21 - Evolution des germinations de jussie en fonction de l'humidité du sol

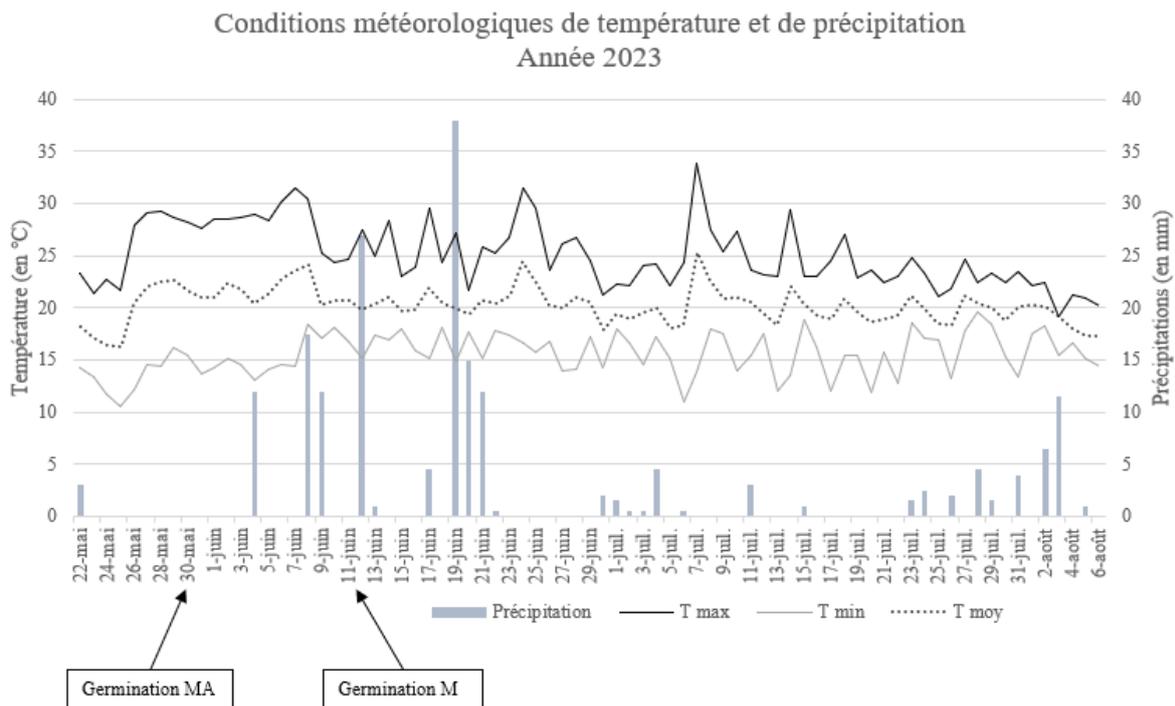


Figure 22 - Conditions météorologiques de température et de précipitation au cours de l'expérimentation 2023 (Source : Climatik)

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

En résumé, il est confirmé qu'il y a une incidence très forte du niveau d'humidité des sols sur le taux de germination de la jussie. Par contre, on a également observé qu'une précipitation pouvait engendrer une germination de la jussie sur un sol de marais. Il semblerait qu'une saison avec des précipitations adéquates soit propice à une germination de la jussie sur des sols agricoles.



▪ Discussion

Nos résultats ont clairement mis en évidence et confirmé 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 précipitation 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 juin), 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 représenter des risques de reprise en fonction des conditions climatiques.

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 sur des sols agricoles, cependant, le développement de la plantule n'est pas assuré sans apport d'eau.



◆ Capacité de germination sur boues de curage et compétition avec un semi de Ray-grass

L'objectif de cette expérimentation est de se pencher sur le risque de reprise de jussie « terrestre » sur des boues de curage préalablement extraites et épandues sur les bords de fossés de marais. Il s'agit notamment de voir si la gestion agricole de ces boues de curage, comme le semis de Ray-grass, peut avoir une influence sur la germination des graines de jussie contenues dans les boues.



◆ Expérimentation préalable - 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 sur des boues de curage extraites et mises à germer. Le nombre faible d'individus présents 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.

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).

▪ Boue de curage

Pour la mise en place de l'expérimentation, des boues de curage de fossé ont été collectées. La boue de curage de fossés est le sol sur lequel a été mis en place l'expérimentation. Elle a été prélevée en mars 2023 en bordure de parcelle sur une prairie semée à Saint Hippolyte. Les boues de curage ont été stérilisées à l'étuve à 60°C pendant 72h afin de tuer le pouvoir germinatif des graines contenues dans les boues.

Tableau 12 - Matériel collecté pour l'expérimentation boue de curage

Site de prélèvement	Coordonnées GPS		Matériel collecté
St-Hippolyte (17)	45,92553540343118 4	-0,8778492927191217	Boue de curage
St-Laurent-de-la-Prée (17)	45,98877550629963	-1,0245935896594993	Capsules de Jussie
Tonnay-Boutonne (17)	45,97510706815559	-0,7163960234411748	Ray-grass anglais Ouragan

■ Graine de jussie et de Ray-grass

Pour les besoins de l'expérimentation, une population de *L. peploides* a été sélectionnée. La collecte et le traitement est identique à celui décrit (p.36) pour l'expérimentation « arrosage ».

Les graines de raygrass ont été fournies par la coopérative agricole de Tonnay Boutonne. C'est un Ray-grass anglais (le plus utilisé dans les mélanges prairiaux) de variété Ouragan de l'année 2020. Elles ont subi les mêmes conditions de stockage que les graines de jussie (2 à 4°C).

■ Plan d'expérience

Le Ray-grass a été choisi comme espèce concurrente car c'est une espèce souvent semée sur les boues de curage dans les exploitations des marais. Le Ray-grass a été semé avec une densité maximale de 30 graines par pot en se basant sur les densités réelles semées par les agriculteurs (20 kg/ha).

Les boues de curage sont caractérisées comme un sol argileux. Le ratio C/N est relativement faible (C/N=7.9) (Larca, Annexe 5). 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 (Figure 23) 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 18.5cm) 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 :

- 1- J : Jussie (30 graines/pots)
- 2- R : Raygrass (30 graines/pots)
- 3- D0 : Raygrass (30 graines/pot) et Jussie (30 graines/pots)
- 4- D1 : Raygrass (3 graines/pot) et Jussie (30 graines/pot)
- 5- D2 : Raygrass (3 graines/pot) et Jussie (30 graines/pot)

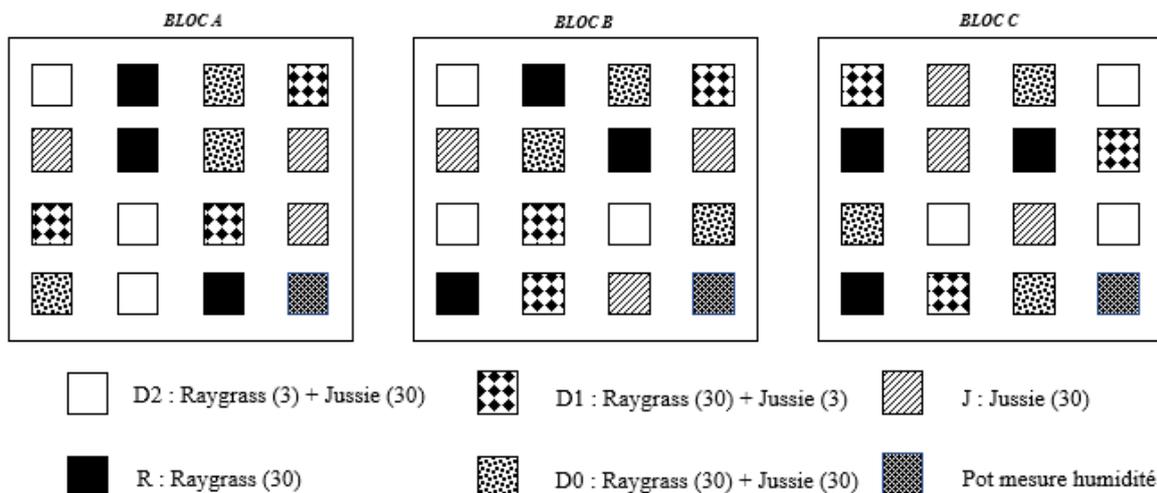


Figure 23 - Design expérimental pour l'expérimentation « compétition » entre le Ray-grass et la jussie sur boues de curage

▪ Paramètres morphologiques mesurés

Les suivis des traits morphologiques, de la phénologie et les mesures finales sont les mêmes que ceux réalisés dans l'expérimentation « Test de l'incidence d'apports d'eau sur la capacité de germination » (voir § p. 38).

▪ Résultats

La cinétique de germination de la jussie met en évidence une modalité (D2 « jussie prépondérante ») ayant eu un comportement différent des autres modalités avec un taux de germination supérieur pendant la période de relevés, de l'ordre de 85%. Les 3 autres modalités (D0, D1, J) ont eu des cinétiques de germination relativement similaires avec un taux de germination final proche de 70%. (Figure 24).

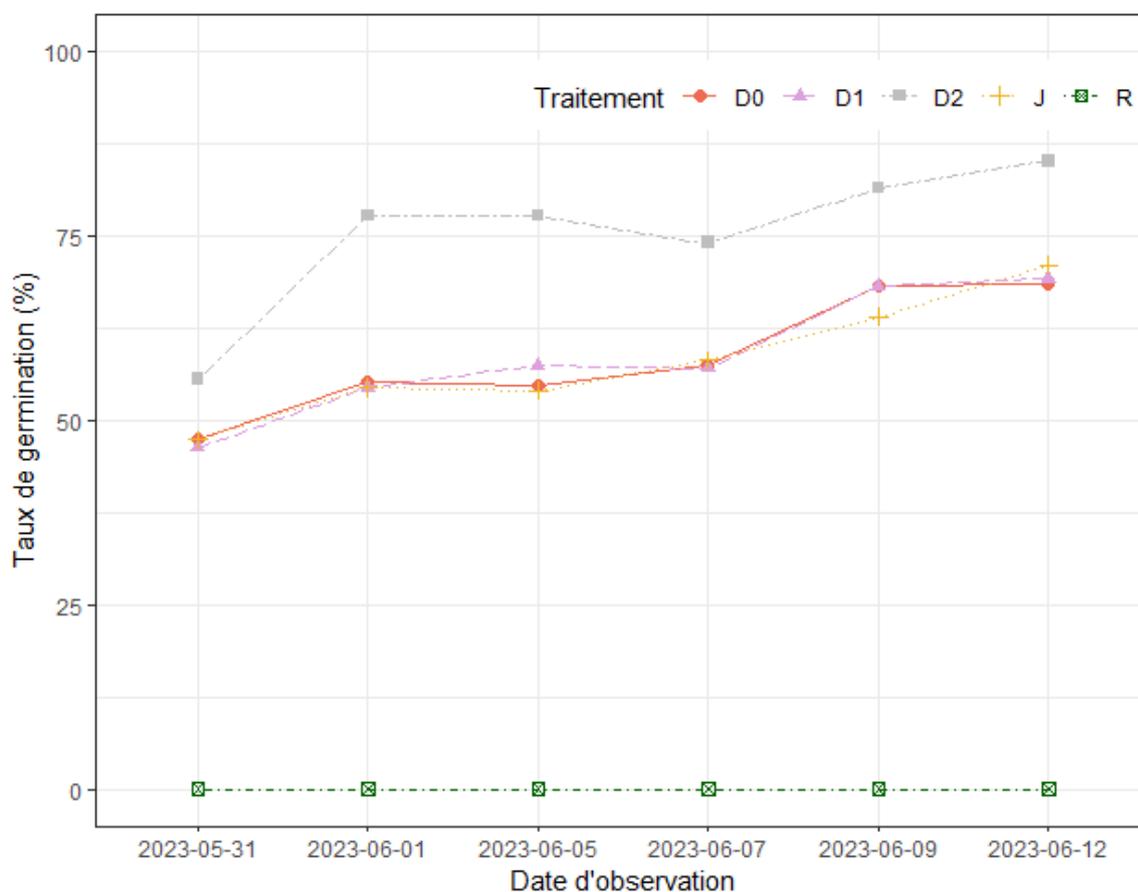


Figure 24 - Cinétique de germination de la jussie en fonction de la densité de Ray-grass semée

D0 (●) : 30 jussie et 30 Ray-grass ; D1 (▲) : 30 jussie et 3 Ray-grass ; D2 (■) : 3 jussie et 30 Ray-grass ; J (+) : 30 jussie ; R (□) : 30 Ray-grass.

La cinétique de croissance (Figure 25) témoigne de différences de croissance observées entre les 5 modalités. Ainsi les longueurs de ramification des plantules les plus élevées ont été observées en absence de Ray-grass (traitement J) et lorsque ce dernier est peu dense (modalité D1). On atteint pour ces deux traitements des longueurs moyennes finales de 15,3 (J) et 10,5cm (D1).

En présence de Ray-grass à forte densité (modalité D0 et D2), les longueurs de ramifications des plantules de jussie ont été plus petites. C'est particulièrement le cas de la modalité D2 (3 jussies, 30 Ray-grass) qui a présenté les plus petites tailles (6,8cm).

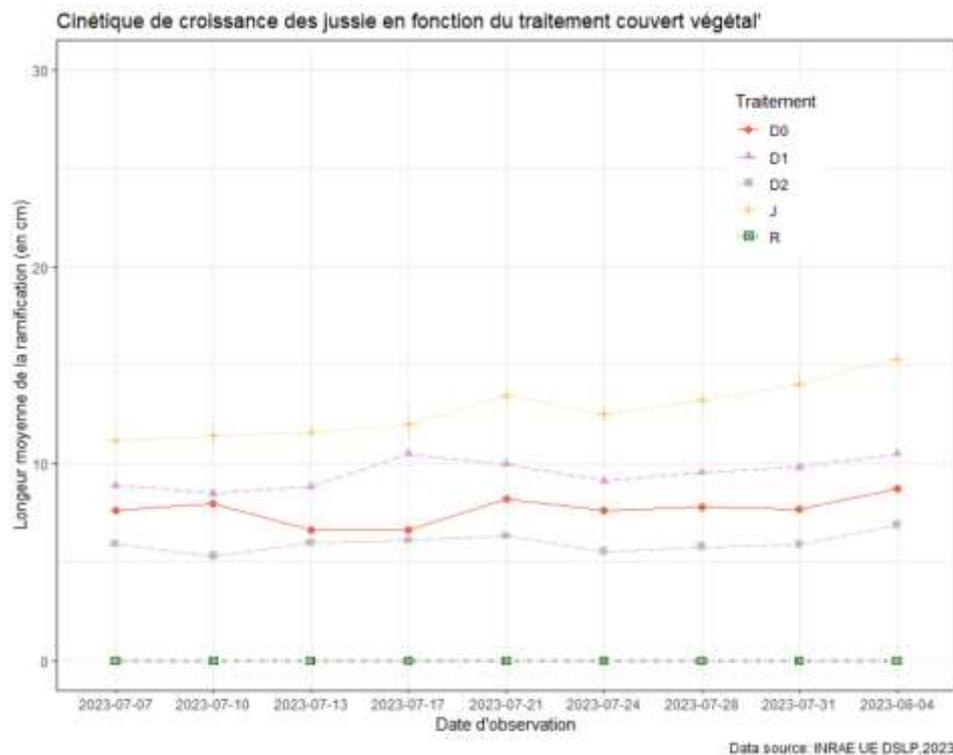


Figure 25 - Cinétique de la croissance moyenne de la jussie en fonction de la densité de Ray-grass

D0 (●) : 30 jussie et 30 Ray-grass ; D1 (▲) : 30 jussie et 3 Ray-grass . D2 (■) : 3 jussie et 30 Ray-grass ; J (+) : 30 jussie ; R (□) : 30 Ray-grass.

Les traits morphologiques de la jussie sont significativement différents en fonction des modalités. Les longueurs mesurées (Figure 26, Tableau 13) ainsi que les masses sèches (aérienne, souterraines et totales) (Tableau 13) sont significativement plus élevées dans les pots où il n'y a pas de compétition avec le Ray-grass (J) que dans les pots avec du le Ray-grass, même à faible densité. On observe une diminution des longueurs de ramification, des masses moyennes à l'individu de jussie et des masses totales de jussie dans les pots quand la pression Ray-grass augmente (D1, D0 et D2 présentant des pressions croissantes). Ainsi, on observe des longueurs de ramification de 14,8cm en moyenne dans la modalité J contre des longueurs 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 (aérienne et souterraine) moyenne d'un individu de jussie dans chaque pot. A l'exception de la modalité D2 qui présente trop peu de jussie, la masse moyenne d'un individu de jussie dans la modalité J (0.42 g) est significativement plus élevée que dans les modalités D1 (0.2g) et D1 (0.08 g) (confirmé par les tests de Kruskal- Wallis avec des p.value de 0.00034 ou 0.00035). (Figure 27, Tableau 13, Annexe 6).

Enfin on met également en évidence que le Ray-grass semé à faible densité présente une masse moyenne par individu significativement supérieure aux modalités où il est semé en plus grande densité (masse moyenne d'un individu de RGA de 1.66g dans la modalité D1, contre environ 0.3g dans les modalités D0, D2 ou R). Ce qui montre le fort pouvoir couvrant du Ray-grasse qui explique que, même à faible densité, il permet de concurrencer la jussie.

Tableau 13 - Effet de la présence ou non de Ray-grass sur les traits morphologiques des plantules de jussie

Traitement	Nombre d'individu final J	Longueur ramification J (cm)	Longueur ramification max J (cm)	Masse sèche aérienne J (g)	Masse sèche souterraine J (g)	Masse sèche totale J (g)	Masse moyenne d'un individu J	Masse moyenne d'un individu RGA
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	0,42 ± 0,08	0
D0	23,2 ± 5,67	8,0 ± 1,35	7,9 ± 1,42	1,31 ± 0,434	0,71 ± 0,252	2,02 ± 0,659	0,08 ± 0,018	±0,35 0,050
D1	22,7 ± 3,00	10,8 ± 1,89	11,4 ± 2,14	2,66 ± 0,745	1,84 ± 0,566	4,50 ± 1,240	0,2 ± 0,07	±1,67 0,463
D2	2,4 ± 1,01	6,8 ± 2,35	4,3 ± 1,87	0,88 ± 1,280	0,06 ± 0,053	0,952 ± 1,32	0,31 ± 0,41	±0,32 0,071
R								±0,35 0,079

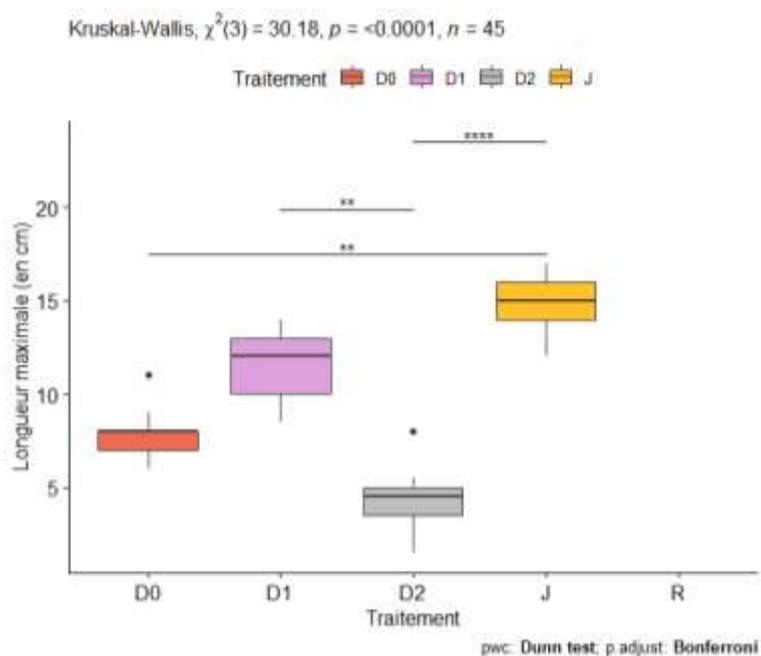


Figure 26 - Effet de la densité de Ray-grass semé sur la croissance de la jussie (longueur moyenne des plantules). Comparaison par paire (Test de Dunn)

D0 : 30 jussie et 30 Ray-grass ; D1 : 30 jussie et 3 Ray-grass ; D2 : 3 jussie et 30 Ray-grass ; J : 30 jussie ; R : 30 Ray-grass. Tests statistiques montrant des différences faiblement significatives à très significatives (** et ****) entre les modalités où la jussie est seule par rapport aux pots où elle est en compétition avec le Ray-grass.

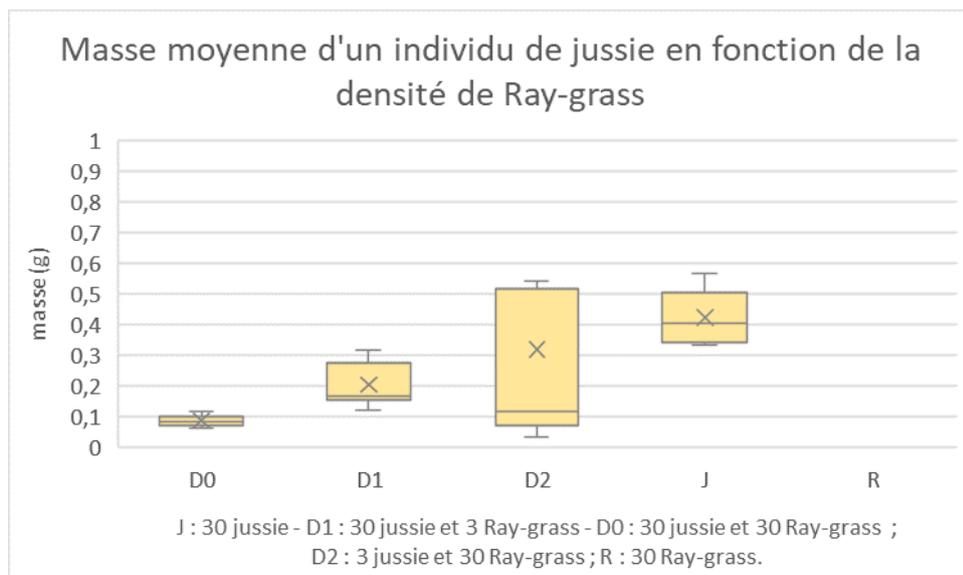


Figure 27 - Effet de la densité de Ray-grass semé sur la masse sèche moyenne d'un individu de jussie semé. Tests statistiques de Kruskal-Wallis montrant des différences très significatives entre les modalités où la jussie est seule par rapport aux pots où elle est en compétition avec le Ray-grass (J/D0 $p=0.00035$ -D0/D1 $p=0.00034$ /D1/J $p=0.00035$) (Annexe 6)

Concernant les différences phénologiques des jussies dans les différentes modalités, 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 crû 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 ».

En résumé, même si les graines de jussies peuvent germer sur des boues de curage épandues en bord de fossé quand les conditions d'humidité des sols sont favorables, il semble que la mise en compétition avec un semis de Ray-grass freine les germinations et le développement des jussies.



▪ Discussion

Nos résultats ont montré qu'en présence de Ray-grass 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 Ray-grass ait joué un rôle 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 Ray-grass 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 le Ray-grass permettrait de limiter la croissance de la jussie et ainsi d'éviter un développement de la forme terrestre sur les boues de curage.

Notons toutefois que les interactions entre les espèces ne sont pas systématiquement de la compétition. C'est ce 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 mis en évidence un développement plus rapide de la jussie en présence de menthe aquatique à faible et à forte densité. Cette étude pointe du doigt les relations positives existantes. 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 Ray-grass 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 le Ray-grass 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.

◆ Relevés in situ

Afin de compléter et confronter les expérimentations avec des observations de terrain, des suivis ont été réalisés sur des boues de curage épandues en bordure de prairies sur les marais de Rochefort (Voutron, Moragne, Genouillé) et des bords de Charente (Saint Hippolyte).

Une prospection de parcelles a été réalisée en 2022 chez 4 éleveurs les 19-20 juillet et 13-20 septembre. Les boues visitées résultaient de curages de 2012, 2018, 2019, 2021 et 2022. Elles avaient été travaillées et re-semées ou non. Elles étaient utilisées en fauche, en pâturage ou selon une modalité mixte, fauche puis pâturage (Tableau 14).

Tableau 14 - Caractéristiques des boues de curage sur prairies prospectées en 2022 (F : fauche ; P : pâture)

Code site	parcelle/modalité	date curage	travail du sol	semis	gestion
BB	P1	2022	non	non	P
BB	P2	2019	non	non	FP
DM	P1	2018	2020	2020	P
JPR	P1	2021	2022	2022	P
DV	P1	2022	2022	2022	F
DV	P2a	2012	non	non	F
DV	P2b	2022	2022	2022	F
DV	P3a	2012	2012	2012	F
DV	P3b	2022	2022	2022	F
DV	P4	2022	2022	2022	F
DV	P5	2022	2022	2022	F
DV	P7	2022	2022	2022	F
VDV	P8	2022	2022	2022	F

Aucune reprise de jussie n'avait été observée par les éleveurs ou par nous-même lors des visites.

Nous avons alors décidé de faire un suivi plus poussé en 2023 sur certaines de ces parcelles. Certains éleveurs ont accepté de ne pas travailler et de ne pas ressemer des boues de 2022, de manière expérimentale. Nous avons donc retenus 2 sites (Moragne et Saint Hippolyte) et 11 situations de boues contrastées pour réaliser les suivis 2023 (Tableau 15, Figure 28, Figure 29, Figure 30).

Tableau 15 - Caractéristiques des boues de curage sur prairies suivies en 2023 (F : fauche ; P : pâture)

Code site	parcelle/modalité	date curage	travail du sol	semis	gestion
BB	P1a	2022	non	non	P
BB	P1b	2022	2023	2023	P
BB	P2	2019	non	non	FP
DV	P2a	2012	non	non	F
DV	P2b	2022	2022	2022	F
DV	P3a	2012	2012	2012	F
DV	P3b	2022	2022	2022	F
DV	P3c	2022	non	non	F
DV	P4	2022	2022	2022	F
DV	P5	2022	2022	2022	F
VDV	P8	2022	2022	2022	F



Figure 28 - Localisation et caractéristiques des boues suivies en 2023 sur la parcelle P1 du site de Moragne



Figure 29- Localisation et caractéristiques des boues suivies en 2023 sur la parcelle P2 du site de Moragne

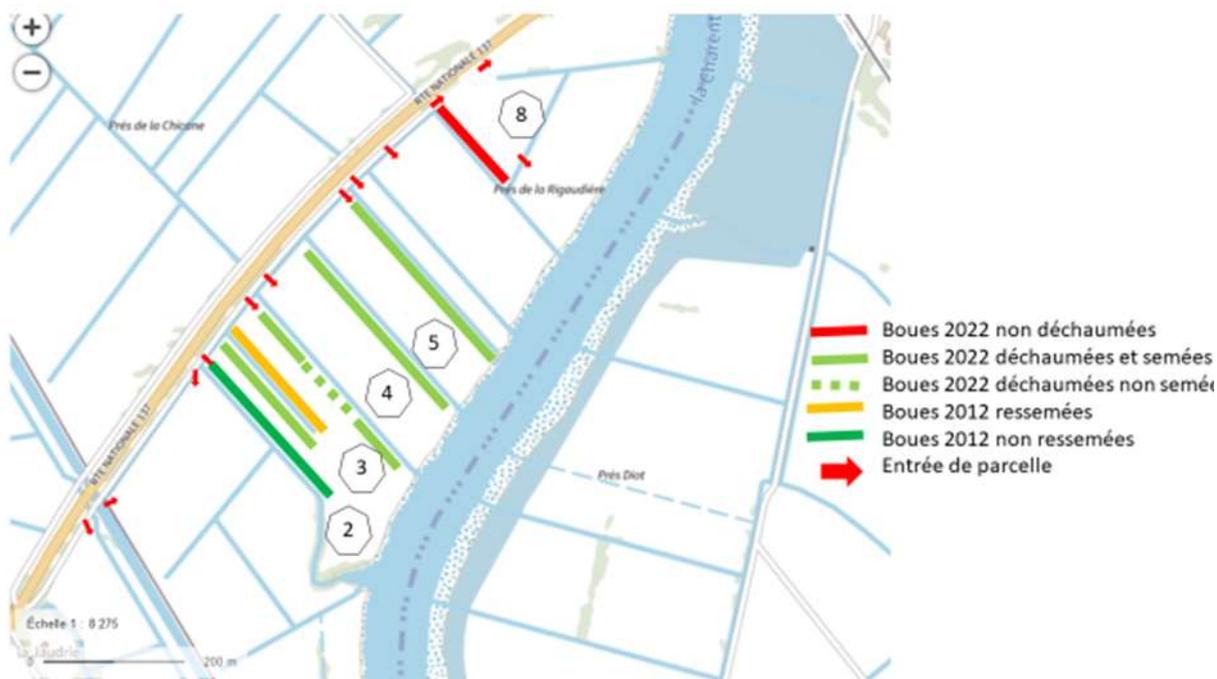


Figure 30 - Localisation et caractéristiques des boues suivies en 2023 sur les parcelles du site de Saint Hippolyte

Les suivis ont consisté en :

- Des suivis spécifiques pour repérer d'éventuelles repousses de jussie réalisés à trois périodes : mai, juillet, septembre sur chaque situation. Ils consistent en une prospection systématique sur toute la largeur de la boue (2 ou 3 observateurs), prospection pas à pas sur toute la longueur de la boue, et enregistrement GPS des repousses identifiées sur une tablette.
- Des inventaires floristiques sur les boues et la prairie voisine. La méthode utilisée est celle dites « des poignées » (De Vries et de Boer, 1959) appliquée tous les 10 pas le long de transects longitudinaux

sur les boues et selon les diagonales de parcelles sur les prairies. Les relevés sont réalisés en mai ou juin avant les fauches. L'objectif de ces relevés est d'apprécier la vitesse de recolonisation des boues par la flore spontanée et d'estimer le temps nécessaire pour retrouver une flore prairiale sur les boues comparables à celle de la prairie voisine.

Résultats concernant la jussie



Photo 10



Photo 11



Photo 12

Reprises de jussie sur les boues de curage en avril 2023

Seules 6 repousses de Jussie ont été observées et seulement au cours du passage de fin de printemps : 5 sur la parcelle/modalité BB P1b à Moragne le 26 avril et 1 sur la parcelle /modalité DV P3b à Saint Hippolyte le 3 mai. Il s'agit dans les deux cas de boues de 2022, travaillées et ressemées. Ces repousses n'ont plus été observées lors des passages de juin-juillet.

Ces premières observations montrent que la reprise de jussie est possible sur des boues récentes, que le travail du sol et le re-semis ne sont pas un rempart contre ces reprises, voire que le travail du sol pourrait les favoriser puisque les boues non travaillées et non semées sur les mêmes parcelles ne présentaient pas de reprises. Ces reprises potentielles disparaissent lorsque que la sécheresse commence à se faire sentir en début d'été.

Il est important de poursuivre ces observations sur une durée plus longue. Des relevés complémentaires seront réalisés en 2024.

Conclusion – Synthèse des expérimentations

Les principaux résultats des différentes expérimentations conduites entre 2022 et 2023 sont synthétisés dans le tableau ci-après :

Expérimentation	Rappel de l'objectif	Variable	Page
2022 et 2023 Pouvoir germinatif de différentes populations de jussie rampante à 2 températures	Acquérir de la donnée sur le taux de germination des populations de <i>L. peploides</i> . Etudier l'influence de la température sur la germination.	L'ensemble des populations de <i>L. peploides</i> prélevées possède un pouvoir germinatif. On constate des taux de germination assez variables selon les populations avec un effet net de la température ; les taux de germination étant supérieurs à 27°C par rapport à 23°C. Les effets « site » et « température » sur la germination de la jussie sont confirmés.	12
2022 Capacité de germination et de croissance de la jussie rampante sur sols agricoles des marais charentais	Tester la capacité de germination et/ou de croissance de la jussie (<i>Ludwigia peploides</i>) sur plusieurs types de sols caractéristiques des marais charentais (sol cultivé ou sol prairial) en fonction de deux types de reproduction de la jussie (sexuée : graines et asexuée : fragments de tiges).	Sur un sol nu, et en conditions favorables de température et d'humidité, la jussie peut germer, se développer et fructifier. On observe un effet de la nature du sol sur la production de biomasse de jussie. Il semblerait qu'en présence d'un couvert végétal de prairie permanente bien développé, la jussie soit limitée dans sa germination et sa croissance. Le taux de reprise végétative de jussie sur les sols est relativement faible en comparaison avec celui obtenu pour les graines. Cependant, lorsqu'un fragment arrive à survivre et à s'implanter, il atteint le stade fructification et peut, de ce fait, produire des fruits fertiles et engendrer une nouvelle population. Le risque de colonisation sur sol agricole par reproduction sexuée ou végétative n'est donc pas à exclure.	17
2023 Expérimentation banque de graine	Tester si la banque de graine des boues de curage contient des graines de jussie viables.	La présence, dans les boues de curage, de graines de <i>L. peploides</i> viables capables de germer a été confirmée.	45

<p>2023 Test de l'incidence d'apports d'eau sur la capacité de germination</p>	<p>Evaluer l'effet des apports d'eau sur la germination et la croissance des graines de jussie en sol cultivé.</p>	<p>Il est confirmé qu'il y a une incidence très forte du niveau d'humidité des sols sur le taux de germination de la jussie. Un épisode de précipitation peut suffire à engendrer une germination de la jussie sur un sol de marais.</p>	<p>36</p>
<p>2023 Capacité de germination sur boues de curage et compétition avec un semi de Ray-grass</p>	<p>Approcher le risque de reprise de jussie « terrestre » sur des boues de curage préalablement extraites et épandues sur les bords de fossés de marais. Voir si la gestion agricole de ces boues de curage, comme l'implantation de Ray-grass, peut avoir une incidence sur la germination des graines de jussie contenues dans les boues</p>	<p>Même si les graines de jussies peuvent germer sur des boues de curage épandues en bord de fossé quand les conditions d'humidité des sols sont favorables, il semble que la mise en compétition avec un semis de Ray-grass freine les germinations et le développement des jussies.</p>	<p>45</p>
<p>2023 Relevés in situ</p>	<p>Compléter et confronter les expérimentations avec des observations de terrain. Suivre des boues de curage épandues en bordure de prairies sur les marais de Rochefort</p>	<p>La reprise de jussie est possible sur des boues récentes, le travail du sol et le ressemis ne suffisent pas à les stopper. Les reprises ponctuelles observées disparaissent lorsque que la sécheresse commence à se faire sentir en début d'été.</p> <p>Il est important de poursuivre ces observations sur une durée plus longue.</p>	<p>51</p>

Pour le gestionnaire, on peut retenir que le risque de reprise de jussie terrestre ne peut pas être écarté quand il y a épandage de jussie sur les terres agricoles, que cela soit un épandage de jussie arrachée sur terres cultivées ou un épandage de boues de curage de fossé en bord de champs.

Toutefois plusieurs facteurs de risque à prendre en compte dans la gestion ont pu être mis en évidence :

- *L. Peplodes* est particulièrement fructifère, ce qui lui confère un potentiel d'adaptation important en combinant reproduction sexuée et asexuée (([Grewell et al., 2019](#)). Il doit en être tenu compte en éliminant la biomasse avant le développement de ces graines capables de germer par la suite. ([Gillard et al., 2020](#)) ;

- L'effet de l'apport d'eau est fortement significatif, toute zone avec un niveau d'hygrométrie optimum comme les zones de marais, est favorable au développement des jussies sous forme terrestre. Les dépôts de jussie arrachée, sans traitement préalable, sont à éviter en zones agricole de marais;
- La présence d'un couvert semble freiner le développement de la reprise de la jussie terrestre avec un certain effet « compétition ».

Annexe 1 : Résultats de l'analyse de terre de marais (S1) (Larca, 2022)



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° 2022.017.019 (22-4871)

N° dossier : 12818

Date d'édition : 03/08/2022

Demandeur :

INRAE
147 RUE DE L UNIVERSITE
75007 PARIS

Client :

INRAE
147 RUE DE L UNIVERSITE
75007 PARIS

Parcelle :

Identifiant Mes P@rcelles :
N° ilot : / Nom parcelle : 1
Surface en ha :
Commune : ST HYPOLYTE
Type de sol : Argileux
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 : 11/04/2022
Date d'arrivée : 11/07/2022
Nom du préleveur :
Profondeur de prélèvement (cm) : SOL -
Cailloux (%) : 10
Coordonnées GPS :
Latitude N/S (Y) :
Longitude E/O (X) :

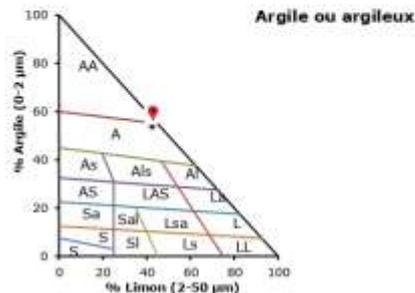
RESULTATS SUR TERRE FINE (< 2 mm)

ETAT PHYSIQUE :

Granulométrie	En g/kg	En %
Argile (< 2 µm) :	537	53.7
Limon fin (2 à 20 µm) :	365	36.5
Limon grossier (20 à 50 µm) :	61	6.1
Sable fin (50 à 200 µm) :	17	1.7
Détail Sable fin (50-100 µm)		
Détail Sable fin (100-200 µm)		
Sable grossier (200 à 2000 µm) :	21	2.1
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 : **0.34**

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



Triangle GEPPA 17 classes

STATUT ORGANIQUE :

Paramètre	Combustion sèche			C/N
	Carbone organique	Matière organique	Azote total	
Echantillon	24.7	42.5	2.89	8.5
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	/
TS	25.1	43.2		8.5
	33.5	57.7		11.5

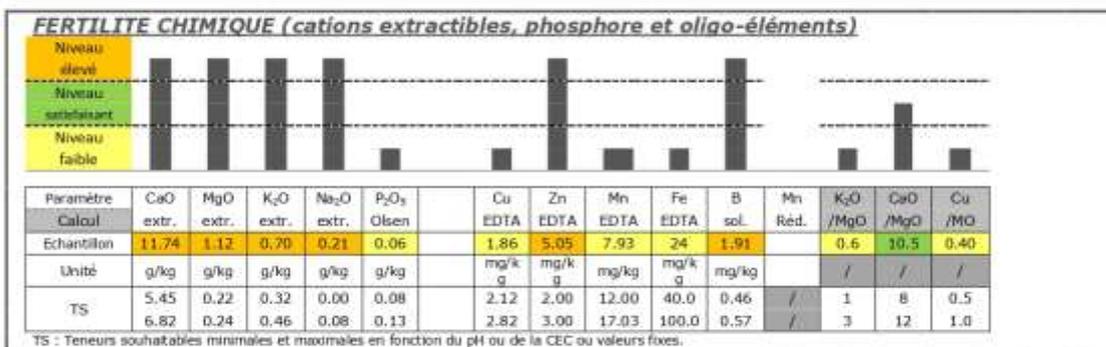
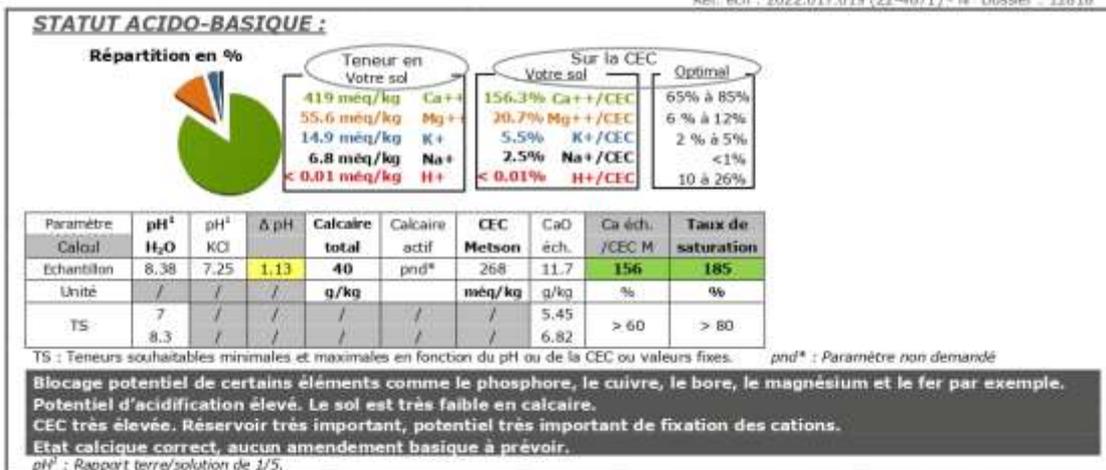
TS : Teneurs souhaitables minimales et maximales en fonction du pH ou de la CEC ou valeurs fixes.

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



MO faible et le rapport C/N est normal.

Conditions favorables à une activité biologique fonctionnelle.



Autres analyses

Paramètre	CaCO ₃ A	Fe	IPC	Conductivité électrique	CaO soluble	MgO soluble	K ₂ O soluble	Na ₂ O soluble	Soufre SO ₂ soluble	Humidité pondérale	Humidité résiduelle	MS
Calcul	FD X 31-146											
Echantillon				17.4		0.19		0.17				
Unité				mS/m à 25°C		g/kg		g/kg				

La conductivité du sol est faible.

Votre prochaine analyse sera à réaliser en : 07/2026

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 X31-108 / Azote total : Méthode interne selon NF ISO 13878 / Granulométrie : Méthode interne selon NF X 33-107 / Cations échangeables : Méthode interne selon NF X 31-105 / 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 Jorel-Naber : Méthode interne selon NF X 31-161 / Phosphore Olsen : Méthode interne selon NF ISO 11265 / 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, extracteur à l'eau / Humidité : Méthode interne selon NF ISO 11465 / Aluminium échangeable : Méthode interne, extracteur au HCl / Soufre soluble : Méthode interne, extracteur 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 : Résultats de l'analyse de terre de groie (S2) (Larca, 2022)



BULLETIN DE RESULTATS – ANALYSES DE TERRE

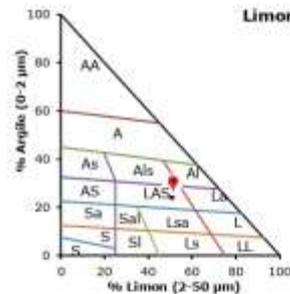
Réf. N° 2022.017.020 (22-4907) N° dossier : 12818 Date d'édition : 03/08/2022

Demandeur : INRAE 147 RUE DE L UNIVERSITE 75007 PARIS	Client : INRAE 147 RUE DE L UNIVERSITE 75007 PARIS
Parcelle : Identifiant Mes P@rcelles : N° ilot : / Nom parcelle : 2 Surface en ha : Commune : ST HIPPOLYTE Type de sol : Non renseigné Utilisation : Culture en place : Non renseigné Etat d'assainissement du sol : Non renseigné Profondeur du sol (cm) : Non renseigné	Echantillon : Date de prélèvement : 11/04/2022 Date d'arrivée : 11/07/2022 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) :	241	24.1
Limon fin (2 à 20 µm) :	182	18.2
Limon grossier (20 à 50 µm) :	326	32.6
Sable fin (50 à 200 µm) :	159	15.9
Détail Sable fin (50-100 µm)		
Détail Sable fin (100-200 µm)		
Sable grossier (200 à 2000 µm) :	92	9.2
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 : **1**

Triangle GEPPA 17 classes

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

STATUT ORGANIQUE :

Paramètre	Combustion sèche			C/N
	Carbone organique	Matière organique	Azote total	
Echantillon	16.0	27.5	1.68	9.5
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	/
TS	14.9	25.6		8.5
	19.8	34.1		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 normal.
Conditions favorables à une activité biologique fonctionnelle.

STATUT ACIDO-BASIQUE :

Répartition en %



Teneur en Votre sol

99.2 méq/kg	Ca++
10.4 méq/kg	Mg++
6.2 méq/kg	K+
0.8 méq/kg	Na+
17.4 méq/kg	H+

Sur la CEC

74.0%	Ca++/CEC
7.8%	Mg++/CEC
4.6%	K+/CEC
0.6%	Na+/CEC
13.0%	H+/CEC

Optimal

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

Paramètre	pH ¹	pH ²	Δ pH	Calcaire total	Calcaire actif	CEC Metson	CaO éch.	Ca éch. /CEC M	Taux de saturation
Calcul	H ₂ O	KCl							
Echantillon	5.89	4.96	0.93	/	pnd*	134	2.78	74	87
Unité	/	/	/	g/kg		méq/kg	g/kg	%	%
TS	6.5	/	/	/	/	/	2.59		
	7.2	/	/	/	/	/	3.24	> 60	> 80

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

pHeau défavorable à l'activité biologique. Seuil d'alerte pH<5,5 ; risque de toxicité aluminique pour les plantes. Potentiel d'acidification moyen. Le sol est non calcaire. CEC très élevée. Réservoir très important, potentiel très important de fixation des cations. Amendement calcique d'entretien à prévoir. En situation orge, luzerne ou hydromorphie sévère prévoir un amendement calcique urgent.

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
Echantillon	2.78	0.21	0.29	0.03	0.04	12.4	3.67	67.5	164	0.67		1.4	13.2	4.50
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg		/	/	/
TS	2.59	0.14	0.19	0.00	0.06	1.54	2.00	12.00	40.0	0.21	/	1	8	0.5
	3.24	0.16	0.28	0.08	0.10	2.13	3.00	20.14	100.0	0.32	/	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 ₂ soluble	Humidité pondérale	Humidité résiduelle	MS
Calcul	FD X 31-146											
Echantillon				16.1		0.03		0.02				
Unité				mS/m à 25°C		g/kg		g/kg				

La conductivité du sol est faible.

Votre prochaine analyse sera à réaliser en : 07/2026

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 20693 / Calcaire actif : NF X32-108 / Azote total : Méthode interne selon NF ISO 13678 / Granulométrie : Méthode interne selon NF X 31-107 / Carbone échangeable : Méthode interne selon NF X 31-108 / Carbone organique : Méthode interne selon NF ISO 20694 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Phosphore Dyer : Méthode interne selon NF X 31-100 / Phosphore Jorrel-Nilbert : Méthode interne selon NF X 31-101 / Phosphore Olsen : Méthode interne selon NF ISO 11265 / 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 / Carbone extractible : Méthode interne, extracteur à l'eau / Humidité : Méthode interne selon NF ISO 11465 / Aluminium échangeable : Méthode interne, extracteur au HCl / Soufre soluble : Méthode interne, extracteur 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 : Résultats de l'analyse de terre de bosse (Larca, 2022)



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° 2022.017.021 (22-4908)

N° dossier : 12818

Date d'édition : 03/08/2022

Demandeur :

INRAE
147 RUE DE L UNIVERSITE
75007 PARIS

Client :

INRAE
147 RUE DE L UNIVERSITE
75007 PARIS

Parcelle :

Identifiant Mes P@rcelles :
N° ilot : / Nom parcelle : 3
Surface en ha:
Commune :
Type de sol : Marais
Utilisation : Prairie
Culture en place : Non renseigné
Etat d'assainissement du sol : Non renseigné
Profondeur du sol (cm) : Non renseigné

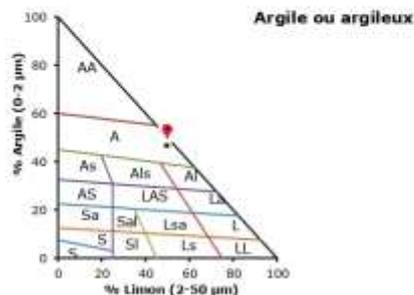
Echantillon :

Date de prélèvement : 11/04/2022
Date d'arrivée : 11/07/2022
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) :	467	46.7
Limon fin (2 à 20 µm) :	366	36.6
Limon grossier (20 à 50 µm) :	132	13.2
Sable fin (50 à 200 µm) :	23	2.3
Détail Sable fin (50-100 µm)		
Détail Sable fin (100-200 µm)		
Sable grossier (200 à 2000 µm) :	12	1.2
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 : **0.89**

Triangle GEPPA 17 classes

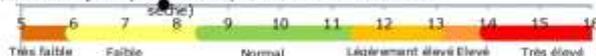
Texture du sol : Argile ou argileux. Terres très fines argileuses.
Sol non battant.

STATUT ORGANIQUE :

Paramètre	Combustion sèche			C/N
	Carbone organique	Matière organique	Azote total	
Echantillon	9.0	15.5	1.16	7.8
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	/
TS	20.5	35.3		8.5
	27.4	47.1		11.5

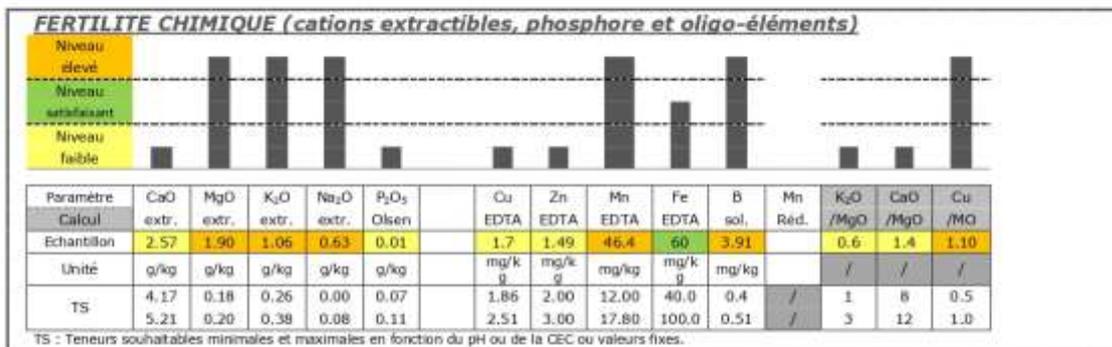
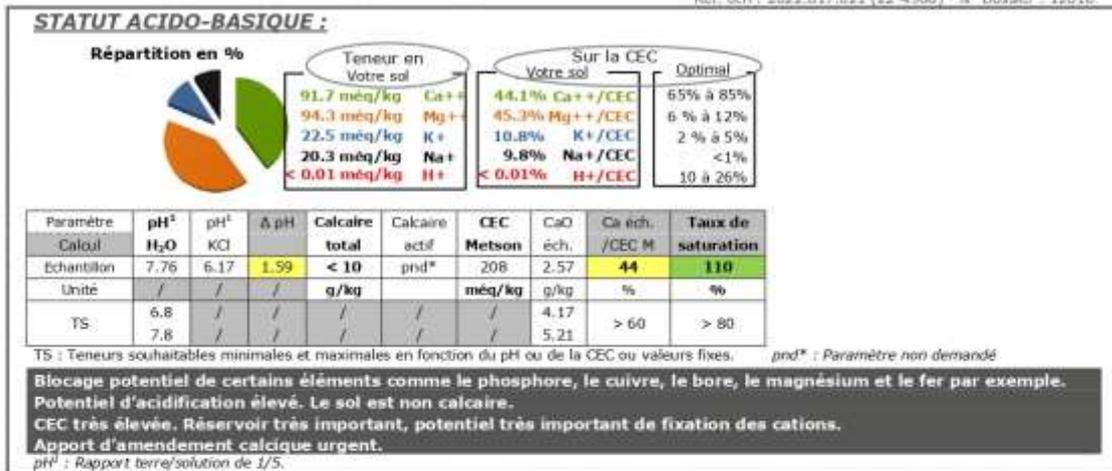
TS : Teneurs souhaitables minimales et maximales en fonction du pH ou de la CEC ou valeurs fixes.

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



MO faible et le rapport C/N est faible.

Sol à décomposition rapide de la matière organique.



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				19.2		0.85		0.36				
Unité				mS/m à 25°C		g/kg		g/kg				

La conductivité du sol est faible.

Votre prochaine analyse sera à réaliser en : 07/2026

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 10883 / Calcaire actif : NF X01-006 / Azote total : Méthode interne selon NF ISO 13876 / Granulométrie : Méthode interne selon NF X 31-107 / Cations échangeables : Méthode interne selon NF X 31-108 / Carbone organique : Méthode interne selon NF ISO 10994 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11269 / Phosphore Dyer : Méthode interne selon NF X 31-103 / Phosphore Joré-Hilbert : 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 31-128 / Bore : Méthode interne selon NF X 31-122 / 3PC : PD X 31-146 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Cations extractibles : Méthode interne, extraction à l'eau / Humidité : Méthode interne selon NF ISO 11402 / Aluminos échangeables : Méthode interne, extractoc au PCl₅ / Sèche soluble : Méthode interne, extractoc au CaCl₂.

LARCA - Laboratoire d'analyses de la chambre d'agriculture Pays de la Loire -126 rue de Beaugé - 72000 LE MANS
Téi. 02.43.28.65.86 - larca@pl.chambagri.fr

Annexe 4 : Résultats de l'analyse de terre de groie (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

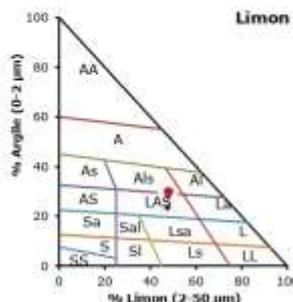
Echantillon :

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

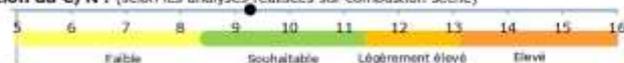
Texture du sol : Limon argilo-sableux. Terres fines argilo-limoneuses.
Sol non battant.

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.

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

138 még/kg	Ca++
8,9 még/kg	Mg++
3,4 még/kg	K+
1,2 még/kg	Na+
< 0,01 még/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 ²	Δ pH	Calcaire total	Calcaire actif	CEC Metson	CaO éch.	Ca éch. /CEC M	Taux de saturation
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
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 (< 75µm). 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 10883 / Calcaire actif : NF X01-006 / Azote total : Méthode interne selon NF ISO 13878 / Gravimétrie : Méthode interne selon NF X 31-107 / Carbone échangeable : Méthode interne selon NF X 31-108 / Carbone organique : Méthode interne selon NF ISO 10994 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Phosphore Dyer : Méthode interne selon NF X 31-163 / Phosphore Jones-Hilbert : 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 31-123 / Bore : Méthode interne selon NF X 31-122 / IPC : PD X 31-146 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Cations extractibles : Méthode interne, extraction à l'eau / Humidité : Méthode interne selon NF ISO 11402 / Aluminos échangeable : Méthode interne, extraction au KOH / 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 5 : Résultats de l'analyse des boues de curage (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) :

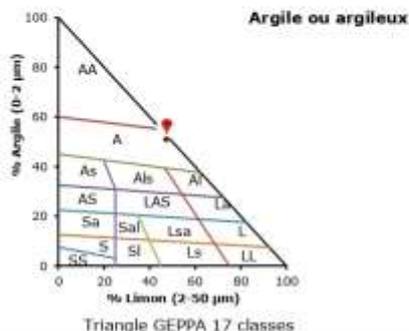
RESULTATS SUR TERRE FINE (< 2 mm)

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.

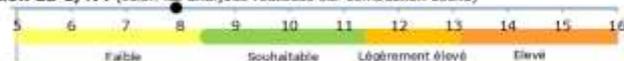


STATUT ORGANIQUE :

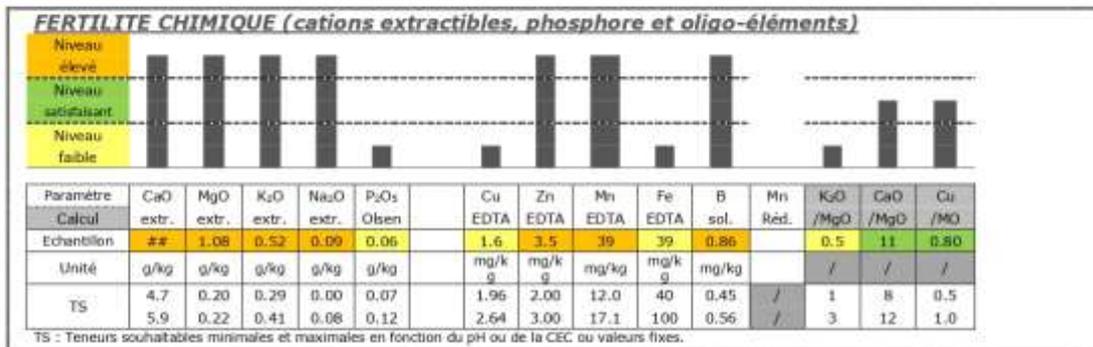
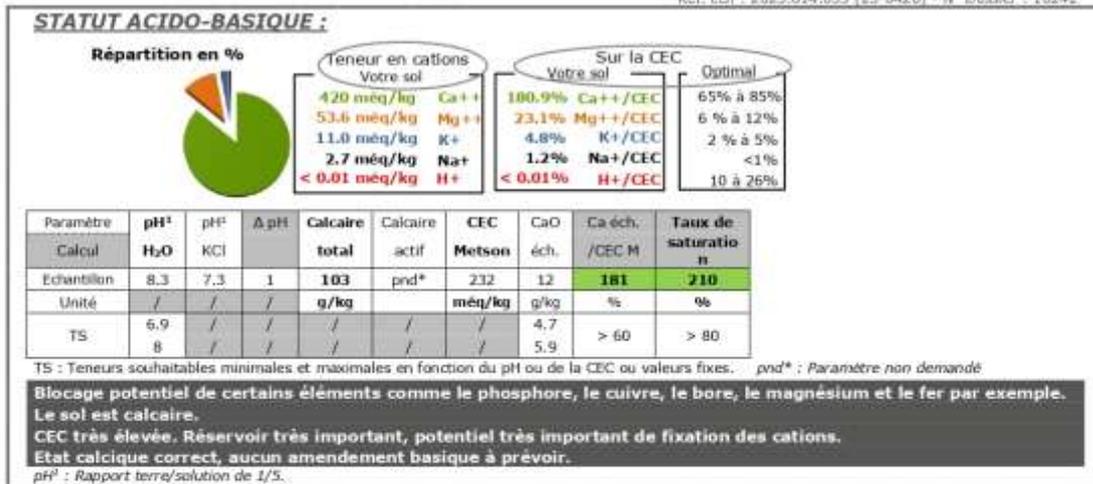
Paramètre	Combustion sèche			C/N
	Carbone organique	Matière organique	Azote total	
Echantillon	12.2	21.0	3.54	7.9
Unité	g/kg	g/kg	g/kg	/
TS	22.4	38.5		8.5
	29.8	51.3		11.5

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.



Autres analyses

Paramètre	CaCO ₃ A	Fe	IPC	Conductivité électrique	CaO soluble	MgO soluble	K ₂ O soluble	Na ₂ O soluble	Soufre SO ₄ 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 (< 75µm). 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 10382 / Calcaire actif : NF X01-06 / Azote total : Méthode interne selon NF ISO 13878 / Gros cuivre : Méthode interne selon NF X 31-107 / Calcaire échangeable : Méthode interne selon NF X 31-108 / Carbone organique : Méthode interne selon NF ISO 10994 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Phosphore Dyer : Méthode interne selon NF X 31-103 / Phosphore Olsen : Méthode interne selon NF X 31-104 / Phosphore Olsen : Méthode interne selon NF ISO 11263 / CEC : Méthode interne selon NF X 31-100 / Cuivre, zinc, manganèse et fer : Méthode interne selon NF X 31-123 / Bore : Méthode interne selon NF X 31-122 / IPC : NF X 31-146 / Conductivité électrique : Méthode interne selon NF ISO 11265 / Cations extractibles : Méthode interne, extraction à l'eau / Humidité : Méthode interne selon NF ISO 11402 / Aluminos échangeable : Méthode interne, extraction au HCl / 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

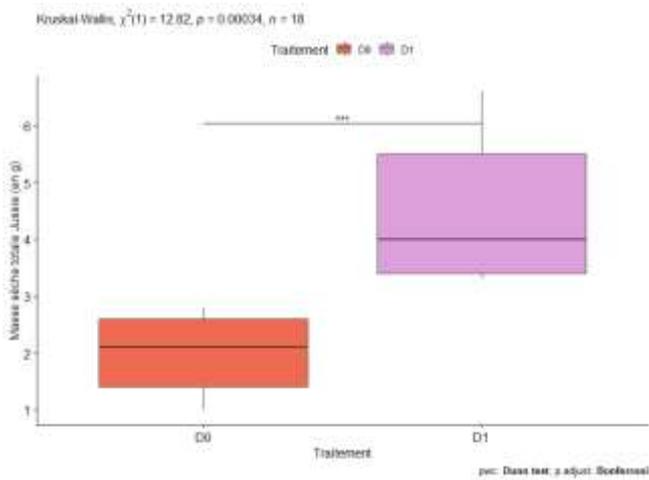
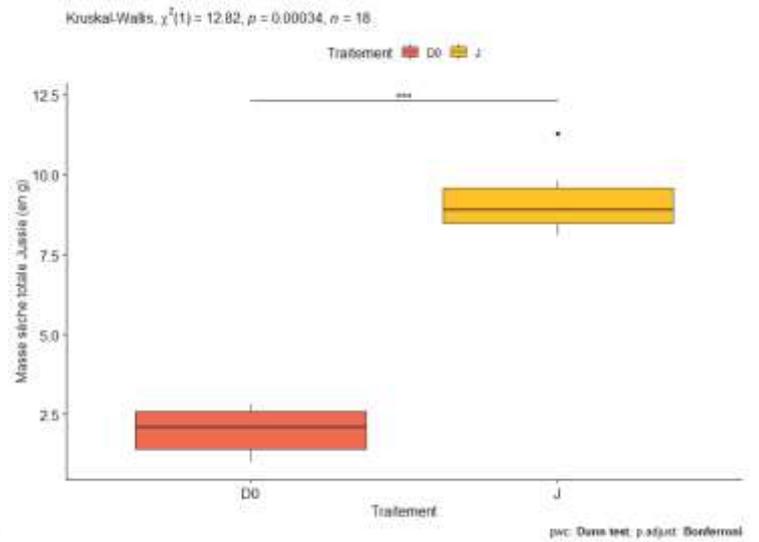
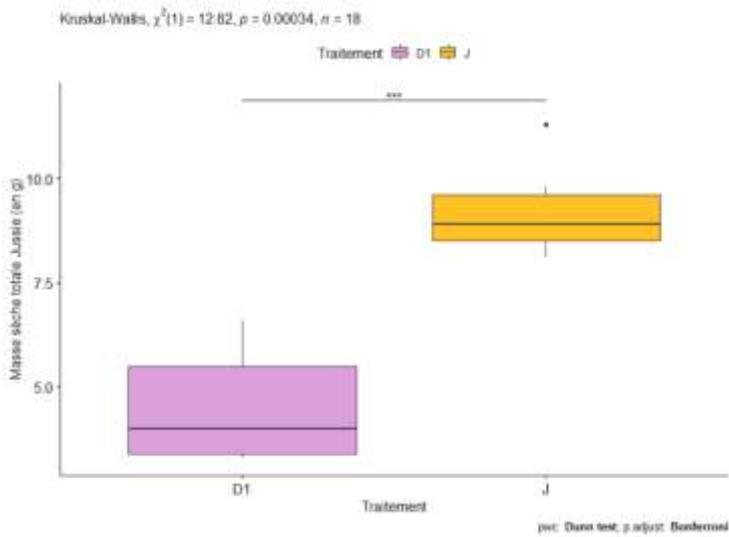
Annexe 6 : Tests statistiques de Kruskal-Wallis montrant le développement de la jussie en fonction de la densité de Ray-grass anglais (RGA) semée

1- Masse totale de jussie en fonction de la densité de RGA semée

D0 : 30 jussie et 30 Ray-grass ;

D1 : 30 jussie et 3 Ray-grass

J : 30 jussie.



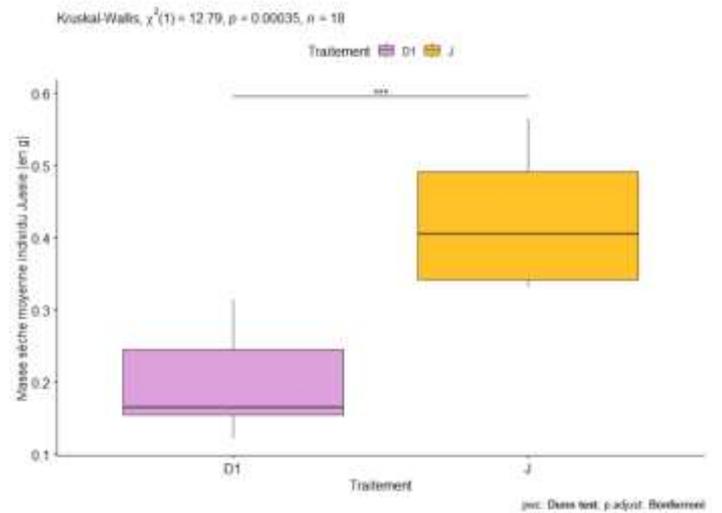
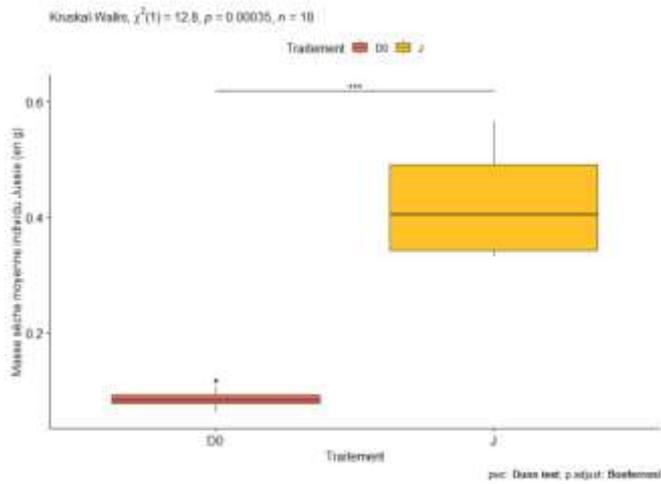
2- Masse d'un individu de jussie en fonction de la densité de RGA semée

D0 : 30 jussie et 30 Ray-grass ;

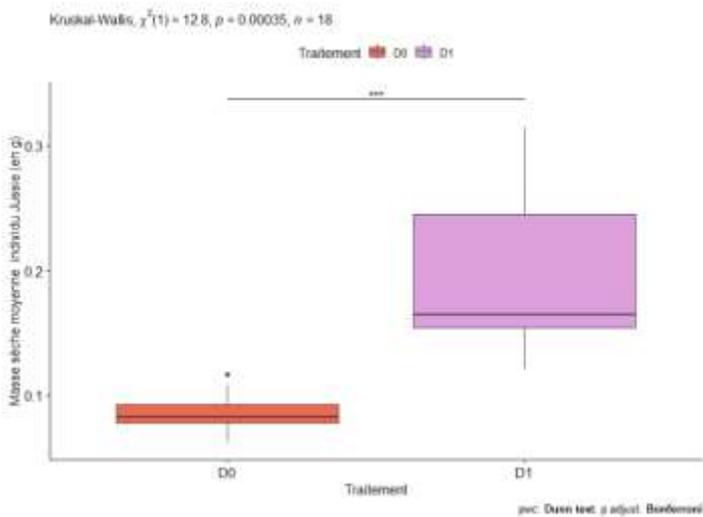
D1 : 30 jussie et 3 Ray-grass

D2 : 3 jussie et 30 Ray-grass

J : 30 jussie.



1-



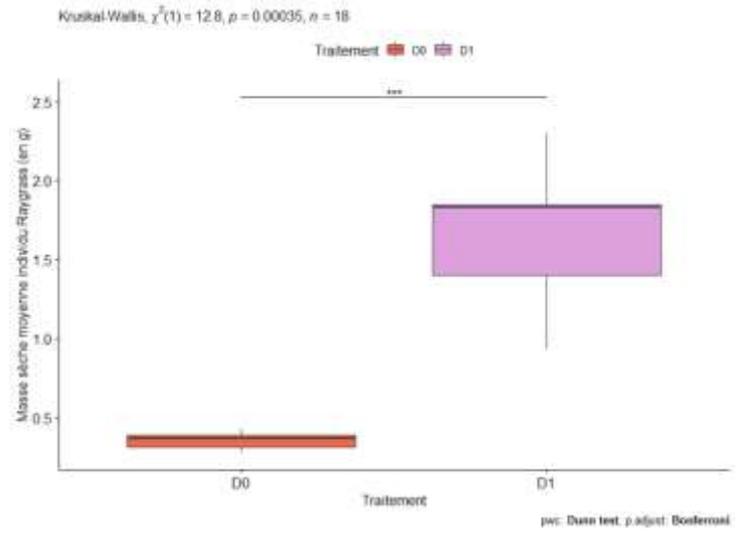
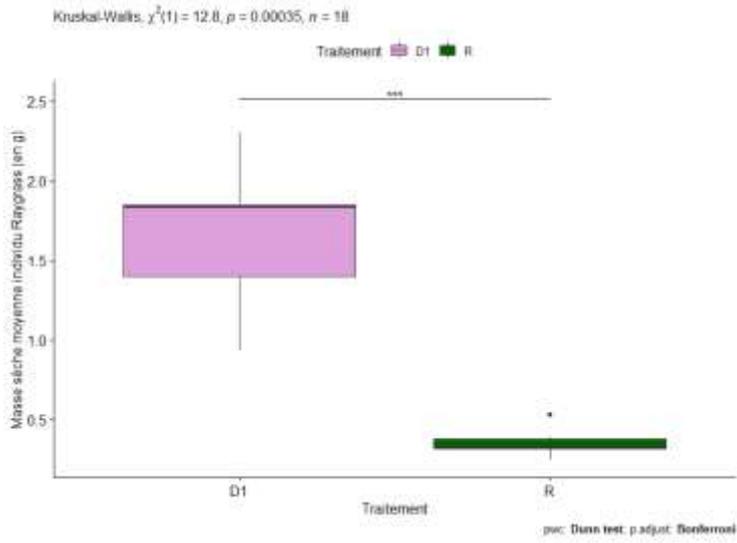
Annexes

3- Masse d'un individu de RGA en fonction de sa densité de semis

D0 : 30 jussie et 30 Ray-grass ;

D1 : 30 jussie et 3 Ray-grass

R : 30 Ray-grass



▪ Annexe 7 : Compte rendu échange du 30/09/2021



Unité expérimentale de Saint Laurent de la Prée

Département ACT
Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers
545 rue du Bois Maché
17450 Saint-Laurent-de-la-Prée

Objet : Echange autour de la gestion/régulation des jussies sur le périmètre du SMCA – demande appui par la recherche – 30/09/2021

Présents :

Alain Burnet – président SMCA
Jean-Eudes du Peuty – Directeur SMCA
Vincent Jauffrit – SMCA
Sylvie Fonteny – CD17
Pierre Marchant - UNIMA
Léna Rabin – CARO
Amadine Ribreau – ARB
Nathalie Boesch - FMA
Gabrielle Thiébaud – Université de Rennes 1-CNRS/ECOBIO
Eric Kernéis – UE SLP
Emilie Cadet – UE SLP
Lilia Mzali – UE SLP

Déroulé de l'échange :

- 1/ Présentation du contexte des travaux du SMCA par Vincent Jauffrit
- 2/ Echanges et débats avec un apport de Gabrielle Thiébaud (université de Rennes1/ ECOBIO)
- 3/ Proposition INRAE UE SLP/ université de Rennes1-CNRS

Synthèse des points abordés et des échanges

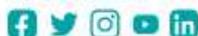
Les opérations de régulation de la Jussie par arrachage ont débuté en 2011 et ont été reprises récemment par le SMCA, lors de sa création. Le programme ne couvre pas l'intégralité du périmètre du SMCA et dépend de l'engagement des ASA dans la démarche.

Le protocole d'intervention retenu avait été examiné sur un plan scientifique par Alain Dutartre et Jacques Haury, au regard des travaux conduits sur les territoires des marais du bassin de la Loire et de la Charente.

la science pour la vie, l'humain, la terre

Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers
545 rue du Bois Maché
17450 Saint-Laurent-de-la-Prée
Tél. : 05 46 82 10 50

Rejoignez-nous sur :



www.inrae.fr/centres/nouvelle-aquitaine-poitiers

La campagne de régulation par arrachage manuel s'étend généralement d'avril à début octobre.

La politique du SMCA n'est pas de tout arracher mais plutôt d'intervenir sur le réseau primaire, au sein des entités hydrauliques.

L'évolution de la réglementation a entraîné la mise en place, en 2020, d'une année « test » avec évacuation de la Jussie arrachée en centre de compostage (conformément au statut de « biodéchet »). Le SMCA prend en charge l'arrachage, les ASA le transport et l'évacuation.

Synthèse des questions posées par le SMCA:

- Questions autour de la filière de « destruction » de la jussie : Peut-on déposer la Jussie aquatique arrachée, dans les parcelles « de terres hautes » cultivées, au lieu de l'évacuer en centre de compostage ? Prend-on un risque, notamment sur la reprise potentielle de Jussie terrestre ? Peut-on évaluer les risques d'un mode opératoire, aujourd'hui non pratiqué, qui viserait à déposer la Jussie arrachée en zone de prairie de marais charentais ?
 - Quelle est la pertinence du compostage dans le process d'arrachage de la Jussie (impact de cette filière sur les graines de Jussie)?
 - Est-ce que d'autres modèles de gestion/régulation ne sont pas recevables (identifier les pratiques des agriculteurs)? Et si oui comment disposer de protocoles pertinents prenant en compte les risques afin de les limiter.
- ➔ Le SMCA formule le besoin d'un appui scientifique sur ces questions de filière de régulation, surtout au regard de certaines pratiques de gestion, souhaitées par certains acteurs de terrain et jugées à priori comme potentiellement « à risque » vis à vis du risque de reprise de Jussie terrestre. Il s'agit de disposer d'éléments scientifiquement étayés et adaptés au contexte particulier des secteurs de marais charentais.

Autres sujets abordés au cours de l'échange :

- Les acteurs sont confrontés à la problématique *Lagarosiphon* qui explose avec une évolution exponentielle, un caractère très invasif et sans qu'il n'y ait de réelle solution technique en face. *Lagarosiphon* semble « cohabiter » avec la Jussie. De nombreuses questions se posent sur la dynamique de cette espèce.
- La question de pénibilité du travail est à prendre en compte dans l'analyse du process d'arrachage.
- Des questions plus larges sur la dynamique de la population sont également abordées.

Gabrielle Thiébaud qui a travaillé sur les différentes espèces Elodée, Egérie, *Lagarosiphon*, et *Ludwigia* fait état de quelques éléments sur la dynamique de ces populations :

- Les notions de flottabilité et de taille des fragments sont déterminantes pour la capacité de colonisation des milieux par ces espèces (impacte la longueur de transfert).
- *Lagarosiphon* est à croissance continue, contrairement aux jussies. Il est donc difficile d'identifier une période propice à son éventuelle régulation.

la science pour la vie, l'humain, la terre

Centre (* nom du centre)

Adresse

Code postal • ville

Tél : 00 00 00 00 00

Rejoignez-nous sur :



Site internet du centre



INRAE

- L'arrachage de la Jussie, en été, retenu pour des questions de faisabilité technique (période d'intervention et volume à traiter) est la période optimum pour la reproduction (production de graines). Un arrachage au printemps « booste » la plante qui répond au stress.
- Les questions d'impacts sur la biodiversité mériteraient d'être relativisées et étudiées. La problématique de l'absence « d'état O » pose question pour une véritable approche de l'impact.
- Le caractère « bio accumulateur » des jussies mérite d'être étudié surtout dans une perspective où la jussie arrachée est acheminée en terre agricole.
- Recherches sur les composés allélopathiques dans les jussies – impact sur insecte/germination des graines, etc. Peu d'études sur le sujet.
- La question de la « valorisation » de la jussie fait l'objet d'oppositions importantes sur le terrain.
- Quid du « qu'est-ce qu'il se passe si on arrête d'intervenir » ? Si on arrête il y a de fortes chances pour que le milieu soit transformé.
(Fermeture des milieux et fréquence de curage plus importante d'après les acteurs du territoire qui rappellent que les marais sont des milieux entièrement artificialisés par l'homme).
- Le réseau hydraulique tertiaire n'étant pas « traité », il y a toujours un réservoir de Jussie qui vient alimenter le réseau primaire. Les travaux d'entretien sont donc permanents. De plus, la place « vide » est rapidement colonisée.
- La présence de jussie est très certainement liée à un milieu en « dysfonctionnement ». Les espèces les plus adaptées s'y développent. Il y a énormément d'hypothèses différentes pour expliquer l'apparition et le développement de la Jussie. On la trouve généralement dans des milieux eutrophes, chargés de nutriments.
- La Jussie est arrivée vers 1830 sur le territoire français. En général les EEE ont, au début, du mal à s'installer car peu adaptées. A partir du moment où elles se reproduisent localement elles se dispersent.

Proposition d'un premier éclairage sur ces questions par la recherche

De nombreuses questions sur divers axes se posent sur cette problématique de régulation de la Jussie.

Une phase de diagnostic et d'identification des enjeux de territoire semble primordiale afin de mieux co-construire les questions de recherche à développer par la suite.

Toutefois, certaines questions ressortent lors de ce premier échange. Plusieurs expérimentations peuvent être proposées pour éclairer le débat. Sont notamment abordées les propositions suivantes :

- Test de germination ou développement végétatif ;

la science pour la vie, l'humain, la terre

Centre (+ nom du centre)

Adresse

Code postal • ville

Tél : 00 00 00 00 00

Rejoignez-nous sur :



Site internet du centre



INRAE

- Observations floristiques in situ sur les zones de dépôt de la jussie arrachée ou sur les zones de dépôt des boues de curage contenant de la Jussie ;
- Restauration écologique de bord de fossé, en mesure préventive, pour apprécier l'impact sur le développement de la Jussie ;
- Mise en place d'un observatoire de la dynamique de population.

Lilia Mzali précise qu'il y a l'opportunité d'un appel à projet interne INRAE, centré sur l'appui aux politiques publiques. Même si les délais sont très courts (date dépôt dossier : 5/10) un dossier pourrait être proposé. INRAE/université de Rennes-CNRS pourront faire une proposition en ce sens.

Le Conseil Départemental 17 a prévu un travail d'un stagiaire en M2 en alternance sur un an, sur la question du bilan de l'action départementale sur les EEE, notamment sur la Jussie. Cela pourrait être l'occasion, avec l'appui méthodologique d'INRAE, d'élargir le sujet de stage en y intégrant l'animation d'une démarche de concertation au travers d'ateliers, afin de faire émerger des enjeux et questions de recherche prioritaires.

Le SMCA est également prêt à participer au plan de financement global. A préciser.

Le FMA pourrait intervenir sur la valorisation et le partage des travaux.

L'ARB précise que les travaux sur la stratégie régionale sont en cours de démarrage. Ce projet pourrait s'inscrire dans cette dynamique.

Suite donnée :

Sur la base de ces propositions, INRAE SLP formalisera un projet scientifique, en identifiant le budget et la contribution financière souhaitée pour le SMCA. Il est proposé de déposer ce projet dans le cadre de l'AAP DAPP d'INRAE au 5/10/2021.

la science pour la vie, l'humain, la terre

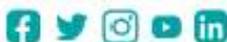
Centre (+ nom du centre)

Adresse

Code postal + ville

Tél : 00 00 00 00 00

Rejoignez-nous sur :



Site internet du centre



INRAE

▪ Annexe 8 : Compte rendu du comité de suivi du 02/02/2023



Unité expérimentale de Saint-Laurent de la Prée

Département ACT
Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers
545 rue du Bois Mache
17450 Saint-Laurent-de-la-Prée

Compte rendu de la Commission Consultative 2 février 2023 (Salle Polynumérique, CARO)

Convention de recherche INRAE-SMCA concernant L'Etude de la capacité de germination et de développement des propagules de *Ludwigia peploides* sur le territoire du SMCA.

Présents :

Alain Burnet (SMCA)
Jean-Eudes Du Peuty (SMCA)
Vincent Jauffrit (SMCA)
Cécile Pouget (SMCA)
Margot Nicou (CARO)
Gabrielle Thiébaut (Université Rennes 1)
Véronique Barthélémy (DREAL)
Alain Dutarte (Botaniste)
Amandine Ribreau (ARB-NA)
Lilia Mzali (INRAE UE SLP)
Eric Kerméis (INRAE UE SLP)
Emilie Cadet (INRAE UE SLP)

Objet : Faire le point sur la première année d'expérimentation, les premiers résultats et les perspectives 2023

Pièce-jointe : Diaporama de présentation

la science pour la vie, l'humain, la terre

Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers
545 rue du Bois Mache
17450 Saint-Laurent-de-la-Prée
Tel : 05 46 82 10 50

Rejoignez-nous sur :

www.inrae.fr/centres/nouvelle-aquitaine-poitiers

A- Commentaires sur la présentation faite au travers du diaporama

1- Rappel du contexte et de l'expérimentation 2022

Ici sont rappelés, les objectifs, la chronologie de la mise en place de l'expérimentation, la localisation des sites de prélèvements des capsules et propagules de jussie rampante, le protocole et plan d'expérience ainsi que les suivis réalisés.

Deux points sont abordés :

- L'intérêt des tests de germination en situation contrôlée (humidité, température et photopériode) ;
- Les principes d'une expérimentation analytique (bloc, répétition et randomisation) ne faisant varier qu'un seul paramètre à la fois (type de sol).

Tous les pots ont reçu la même quantité d'eau, afin de maintenir une humidité optimale au développement de la jussie. Cette quantité a varié en fonction des précipitations et de la température extérieure.

2- Eléments de résultats de l'expérimentation 2022

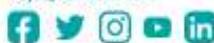
Sont présentés :

- Les caractéristiques physiques de 2 sols cultivés prélevés sur la commune de St Hippolyte.
- Les taux de germination en conditions contrôlées (chambre climatique à Rennes) : 2 températures testées (23°C et 27°C). G. Thiébaud précise que les germinations à 23°C sont plus faibles et moins rapides que ce qui est habituellement observé sur d'autres populations (Camargue par ex.).
- Les premiers résultats de germination (en pots et à l'extérieur) sur les 2 types de sols cultivés. Les taux de germination sont significativement différents entre les 2 types de sol. La croissance des individus est non négligeable, en 2 mois de culture, ils sont majoritairement en fleurs et en fruits.
- Résultats suite à l'implantation des propagules sur sols cultivés. Le taux de survie des propagules est faible sur les 2 types de sol ce qui ne permet pas de conclure sur une éventuelle différence entre les deux sols. Néanmoins, la croissance des propagules implantées est forte, une partie des individus est en fleurs-ruits à la fin de l'expérimentation.

la science pour la vie, l'humain, la terre

Centre (* nom du centre)
Adresse
Code postal * ville
Tel : 00 00 00 00 00

Rejoignez-nous sur :



Site internet du centre



- Les résultats sur prairies (bosse et jas de Brouage) : Les échantillons prélevés sur la bosse en conditions de sol très secs ont eu des difficultés à se réhydrater malgré le fait qu'ils aient été arrosés de la même manière que les sols cultivés. Aucune germination ni reprise de propagules n'ont été observées. Sur les échantillons prélevés sur le jas, arrosés en sub-irrigation continue, les germinations et l'implantations des propagules ont été très faibles et le taux de mortalité de 100%.
Elément complémentaire : Il est évoqué le fait, qu'en condition réelle, il y a des zones piétinées par les animaux sur les prairies, zones sans couverture végétale et très humides, qui sont propices au développement de la jussie. Cet effet n'a pas été apprécié car les échantillons de jas montraient un taux de recouvrement végétal proche de 100%.

3- Perspectives pour 2023

- L'analyse statistique des données collectées en 2022 sera menée par une stagiaire de master 2 (arrivée prévue le 6 mars 2023). Elle participera également aux observations et réalisera les expérimentations sur le site INRAE SLP (voir ci-dessous).
 - Observations chez les agriculteurs : Les suivis seront conduits à partir de 2023 sur la flore des boues de curage d'ancienneté différentes (2012, 2019, 2022) et avec différents traitements (avec ou sans travail du sol, semées ou non avec du Ray-grass) et sur la flore des parcelles attenantes. L'objectif, outre la détection de reprise de jussie, est d'évaluer la dynamique de recolonisation des boues par les espèces prairiales spontanées voisines.
 - Proposition d'expérimentations mises en place sur le site INRAE SLP : 2 expérimentations proposées
 - a- En complément des observations sur les boues de curage *in situ*, une expérimentation sera mise en place pour simuler, en conditions semi contrôlées, le risque de reprise de jussie sur les boues de curage avec et sans implantation de ray grass en simultané.
 - b- Dans la continuité de l'expérimentation 2022, il sera mis en place une expérimentation sur la germination des graines de jussie, dans le même sol que 2022, en testant l'effet « apport d'eau » (avec ou sans apport d'eau).
- Ces deux expérimentations sont validées par le comité de suivi.

la science pour la vie, l'humain, la terre

Centre (+ nom du centre)
Adresse
Code postal + ville
TEL : 00 00 00 00 00

Rejoignez-nous sur :
    
Site internet du centre


RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité



B- Echanges

Echange sur les résultats :

M. Burnet demande si l'on connaît la capacité de la plante à se développer après germination. G. Thiébaud précise que les situations sont variables. En général en chambre climatique on a un bon taux de survie, mais il est beaucoup plus faible sur le terrain.

Il est également demandé si les sols à Saint Hippolyte ont reçu plus d'engrais, ce qui pourrait expliquer le meilleur taux de germination. Des analyses de sol ont été faites et seront analysées pour voir si on a une situation contrastée.

Echange sur les perspectives :

Mme Barthélémy s'interroge sur les risques liés à l'épandage des boues de curage sur les bords de fossés. L'expérimentation mise en place sur le site d'INRAE sur les boues de curage ainsi que les suivis chez les agriculteurs sur la colonisation végétale des boues de curage doit en effet apporter des éléments de réponse sur ce risque.

M. Dutarte souligne l'importance de réaliser ces suivis sur les boues de curage des agriculteurs en complément des expérimentations analytiques en site contrôlé, et de les faire perdurer dans le temps. Cela permet d'être au plus près de la réalité terrain, on observe en effet des écarts importants entre le labo et le terrain dans ce domaine.

G. Thiébaud précise que l'originalité de ce projet consiste dans la mise en place d'une réponse à plusieurs niveaux complémentaires, à la question posée par le SMCA. Les tests en chambre climatique sont précis mais l'extrapolation au terrain est difficile. Les suivis sur le terrain sont plus proches de la réalité mais on a une « boîte noire » sur les paramètres et facteurs d'influence. La mise en place de l'expérimentation sur le site INRAE de Saint Laurent de la Prée est une solution intermédiaire dans laquelle on contrôle certains facteurs en tentant de se rapprocher du terrain. C'est un compromis entre une approche plus analytique et la commande du SMCA.

Il est également abordé la parution du guide pour accompagner le traitement des déchets de plantes exotiques envahissantes : <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/publication-dun-guide-pour-accompagner-le-traitement-des-dechets-de-plantes-exotiques-envahissantes/>. Et notamment les perspectives potentielles dans la mise en place de **compostage de proximité** pour l'élimination de la jussie, qui demande à ce que les connaissances soient enrichies en matière de survie des graines dans ce type de compostage non industriel, en terres hautes ou en marais.

la science pour la vie, l'humain, la terre

Centre (+ nom du centre)
Adresse
Code postal + ville
Tel : 00 00 00 00 00

Rejoignez-nous sur :
    
Site Internet du centre


RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE

M. Burnet rappelle que la réglementation oblige une destruction des jussies via des composteurs industriels. Cette filière nécessite du déplacement de grandes quantités de jussies manuellement (sites ne permettant pas un accès à des engins de levage) posant un problème de risques et de pénibilité du travail des agents récoltants, des coûts élevés de transport vers les centres de compostage et de traitement. D'où les interrogations sur les éventuelles possibilités de mise en place de compostage de proximité pour assurer une destruction des jussies conforme à la réglementation.

Il est important de connaître les conditions les plus favorables au développement de reprises terrestres de la jussie pour prendre toutes les précautions nécessaires lors d'un compostage sur place.

Le stage M2 encadré par INRAE en 2023 pourrait permettre d'alimenter une 1^{ère} réflexion sur une expérimentation à mettre en place sur le compostage de proximité.

- Il est proposé qu'INRAE fasse remonter au SMCA une proposition de protocole sur le test « compostage de proximité », (dans le cadre du travail de M2) qui pourra transmettre à la DREAL (Mme Barthélémy) afin d'obtenir un accord sur ce type d'expérimentation à mettre en place dans le futur, ainsi que les conditions de cadrage réglementaire.

C- Voies de Valorisations de ce programme

Le résultat de ce travail de recherche devra être présenté aux présidents d'ASA mettant en œuvre, non pas par les opérations d'arrachage de la jussie, mais des programmes de curage des fossés, ainsi qu'aux agriculteurs et élus locaux.

M. Burnet souhaiterait également disposer d'un support permettant d'interpeller les parlementaires.

Alain Dutartre précise que ce travail pourrait être valorisé dans un article web pour le centre de ressources EEE.

Il est donc prévu en sortie de ce programme :

- Un rapport de synthèse ;
- Une plaquette de vulgarisation ou article technique ;

la science pour la vie, l'humain, la terre

Centre (* nom du centre)
Adresse
Code postal * ville
Tel : 00 00 00 00 00

Rejoignez-nous sur :
    
Site Internet du centre


RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité



- Une proposition d'article pour la revue SET (Sciences, Eaux et Territoires) d'INRAE ;
- Eventuellement une vidéo de vulgarisation.

Les publications scientifiques académiques seront fonction des résultats et de la puissance statistique des tests.

Calendrier :

Une prochaine réunion du comité de pilotage (INRAE/SMCA) est à prévoir sur le terrain en juillet 2023.

INRAE transmettra le protocole expérimental pour les expé réalisés in situ.

Bibliographie

- Boussou R., 2023 – Étude sur les pratiques à 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 ? Rapport de fin d'études, Diplôme d'ingénieur agronome, spécialisation QEGR, ENSAT, Toulouse, Promotion T19 et Master 2 Ecosystème et anthropisation, Université Paul Sabatier, Toulouse. INRAE, UMR Ecobio Rennes, SMCA : 36 p.
- Carpenter S. R., Adam M. S., 1977 - The macrophyte tissue nutrient pool of a hard water eutrophic lake: Implications for macrophyte harvesting. *Aquatic Botany*, Volume 3: 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.
- Charvet E., 2022 - La gestion de la jussie rampante (*Ludwigia peploides*), espèce exotique envahissante, dans les marais rétro-littoraux de Charente-Maritime. Mémoire de Première année de master Sciences Pour l'Environnement, parcours Gestion de l'Environnement et Ecologie Littorale à La Rochelle Université : 20 p.
- Charvolin F., Grillas P., Marion L., Millon A., Moutou F., Tancoigne E., Treillard A., 2018 - Les espèces exotiques envahissantes et leur gestion. Rapport LPO, Conseil scientifique et technique : 58 p.
- Dandelot S., 2004 - Les *Ludwigia* spp. Invasives du sud de la France : Historique, biosystématique, Biologie et écologie. Thèse de Docteur de L'Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille, Discipline : Ecologie - Hydrobiologie : 218 p. <http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2017/02/THESE-DANDELLOT.pdf>
- Dandelot S., Robles C., Pech N., Cazaubon A., Verlaque R., 2008 - Allelopathic potential of two invasive alien *Ludwigia* spp.. *Aquatic Botany*, 88(4): 311-316.
- De Vries D.M., de Boer Th., 1959 - Methods used in botanical grassland research in the Netherlands and their application. *Herbage Abstracts*, 29, 1 : 1-7.
- Delbart E., Mahy G., Monty A., 2013 - 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). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 17(1), 88-103. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/145695>
- Dutartre A., 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 : 275-282. (hal-02575183)
- Dutartre.A, 2002, « Panorama des modes de gestion des plantes aquatiques : nuisances, usages, techniques et risques induits. *Ingénieries eau-agriculture-territoires* », 30 : 29 – 42. (hal-00464690)
- Dutartre A., coord., 2007, Programme de recherche Invasions Biologiques. Les jussies: caractérisation des relations entre sites, populations et activités humaines
- Gillard M., Drenovsky R. E., Thiébaud 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., Grewell B. J., Deleu C., Thiébaud G., 2017 – Climate warming and water primroses: germination responses from two invaded ranges. *Aquatic Botany*, 136 : 155-163.
- Grewell B. J., Netherland M. D., Skaer Thomason M. J., 2016 – Establishing Research and Management Priorities for Invasive Water Primroses (*Ludwigia* spp.). Aquatic Plant Control Research Program. US Army Corps of Engineers. Engineer Research and Development Center. ERDC/EL TR-16-2. Final report: 53 p. (http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2017/02/170202_JUSSIES-USA-RAPPORT-GREWELL-FINAL.pdf)

- Hernandez J., Rangel J.O., 2009 – Vegetation of the wetland Jaboque (Bogota, D.C.). *Caldasia*, vol. 31, N°2: 355-379.
- IPBES, 2019 – Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany : 56 p.
- Khanna, S., Santos M. J., Boyer J. D., Shapiro K. D., Bellvert J., Ustin S. L., 2018 – Water primrose invasion changes successional pathways in an estuarine ecosystem. *Ecosphere*, 9(9): 18 p. (<https://doi.org/10.1002/ecs2.2418>)
- 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.
- LIU Michel, 1992, « Représentation de la recherche-action : définition, déroulement et résultats », *Revue Internationale de Systémique*, vol. VI, n°4, p. 293-311
- MEEM, 2017 – Stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer : 43 p. (https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/17039_Strategie-nationale-especes-exotiques-invahissantes.pdf)
- Menozi M.-J., 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>
- 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>
- Pestie J.P., 2022 – Synthèse de la lutte contre la jussie et de la gestion des déchets. Rapport, L'entente des canaux du Centre France : 11 p., consulté le 06/07/2023 sur <https://www.ententedescanaux.org/wp-content/uploads/2022/04/A233-JPP-JUSSIE.pdf>
- Rebillard J.P., Dutartre A., Fare A., 2002 – Guide de gestion des macrophytes aquatiques en France. 11^{ème} symposium international EWRS sur la gestion des plantes aquatiques, Moliets et Maà, France. pp.303-306. (hal-02580676)
- Rolon A.S., Lacerda T., Maltchik L., Guadagnin D.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 ; <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.3170/2008-8-18359>)
- Ruax B., Greulich S., Haury J., Berton J.-P., 2009 – Sexual reproduction of two alien invasive *Ludwigia* (Onagraceae) on the middle Loire River, France. *Aquatic Botany*, Vol 90 (2): 143-148. (ISSN 0304-3770 ; <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.08.003>)
- Thiébaud 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. *Biological Invasions*, 9: 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10530-006-9000-1>
- Thiébaud G., Tarayre M., Rodríguez-Pérez H., 2019 – Allelopathic Effects of Native Versus Invasive Plants on One Major Invader. *Front. Plant Sci.* 10:854. doi: 10.3389/fpls.2019.00854
- Thouvenot L., 2012 – Stratégies de réponse de l'espèce invasive *Ludwigia grandiflora* aux contraintes environnementales. Thèse Université de Rennes 1.
- Thouvenot L., Puech C., Martinez L., Haury J., Thiébaud G., 2013 – 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.

- White H., 2022 – Temperature effect on germination and growth capacity of different populations of an invasive species: *Ludwigia peploides*. Mémoire de Master 1, IMABEE, Université Rennes 1.
- Wickham H., 2016 – Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer ed. : 276 p.
- Williamson M., 1996, Biological Invasions, London : Chapman and Hal.
- 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.

Sites internet

- Conservatoire Botanique National de Brest – 2008 – La jussie, fiche technique : 6 p. consulté le 21/04/2023 sur <https://www.cbnbrest.fr/site/pdf/jussie.pdf>
- Pôle Ripisylves & Invasives & Hydromorphologie, CCEAUscopAquabio – 2013 - site web, consulté le 06/07/2023 sur https://cceau.fr/invasions_biologiques/plantes_invasives/ludwigia_grandiflora/
- Centre de ressources Espèces Exotiques Envahissantes – 2017 - « *Azolla filliculoides* ». Base d'information sur les invasions biologiques en milieux aquatiques. UICN France et Office français de la biodiversité, page internet, consulté le 26/06/2023 sur <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/espece/azolla-filliculoides/>
- Centre de ressources Espèces Exotiques Envahissantes – 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/>
- Climatik, 2023 – BDD climatique, Agroclim INRAE. <https://agroclim.inrae.fr/climatik>
- Dutarte A., 2020 – La gestion des jussies en Grande-Bretagne. Dossier de la Lettre d'Information, Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes. <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/la-gestion-des-jussies-en-grande-bretagne/>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2011 – Pest risk analysis for: *Ludwigia grandiflora*. 11-16827. https://www.codeplantesenvahissantes.fr/fileadmin/PEE_Ressources/RTE/RE_1143_Ludwigia_grandiflora.pdf
- MTEs, 2018 – Note ministérielle du 02 Novembre 2018 relative à la mise en œuvre des opérations de lutte contre les EEE. Note : 22 p. consulté le 06/07/2023 sur http://www.especies-exotiques-envahissantes.fr/wp-content/uploads/2018/11/mtes_181102_note-technique-oprations-de-lutte-eee-signe.pdf
- 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>
- 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>