

SHORT NOTE

<http://dx.doi.org/10.4314/mcd.v9i1.6>

Approche expérimentale de l'utilisation de glyphosate dans le contrôle de *Melaleuca quinquenervia* (Myrtaceae), une espèce envahissante dans la réserve communautaire de la forêt d'Analalava-Foulpointe (Madagascar)

Cyprien Miandrimanana¹, Nirina Solovavy¹,
Rajohanesa Marinkasandrata¹ and Christopher B.
Birkinshaw¹

Correspondence:

Cyprien Miandrimanana

Missouri Botanical Garden, Madagascar Research & Conservation
Program, Madagascar.

E-mail: cyprien.miandrimanana@mobot-mg.org

RÉSUMÉ

Le Niaouli *Melaleuca quinquenervia* est une des espèces envahissantes les plus agressives à Madagascar et elle gagne de plus en plus de terrain en colonisant des milieux marécageux autour de la Nouvelle Aire Protégée de la forêt d'Analalava Foulpointe. L'inquiétude sur son envahissement augmente, et même si l'éradication paraît d'ores et déjà impossible, il convient de trouver dès maintenant une solution efficace pour contrôler son expansion jusqu'à l'aire protégée. Seul le contrôle chimique peut être envisagé pour cette espèce qui fait preuve d'une grande résilience face à la coupe et au feu. Cette étude vise à identifier le meilleur protocole d'utilisation de glyphosate dans le contrôle de l'invasion de *M. quinquenervia* dans la forêt d'Analalava Foulpointe. Cinq solutions de glyphosate de concentrations différentes, S1 (0g/l), S2 (90g/l), S3 (180g/l), S4 (270g/l) et S5 (360g/l) ont été testées sur 200 individus, soit 40 individus pour chaque solution. Les solutions de glyphosate sur la surface coupée du tronc d'un individu ont été appliquées soit au pinceau, soit au pulvérisateur. Des suivis ont été faits pendant quatre mois, observant l'état des individus traités et l'impact du traitement sur les plantes ligneuses environnantes. La plupart des individus traités sont morts, présentant plus de 85% de taux de mortalité. Certaines plantes non ciblées ont été touchées (19% des individus recensés), quel que soit la concentration en ingrédient actif de glyphosate et l'équipement utilisés. De cette expérience, le meilleur protocole d'utilisation de glyphosate est la concentration de 90g/l de l'ingrédient actif appliquée sur la surface coupée d'un tronc traité en utilisant un pinceau.

ABSTRACT

Melaleuca quinquenervia, one of the most aggressive invasive species in Madagascar, gains more and more ground and colonizes wetland environments around the New Protected Area of

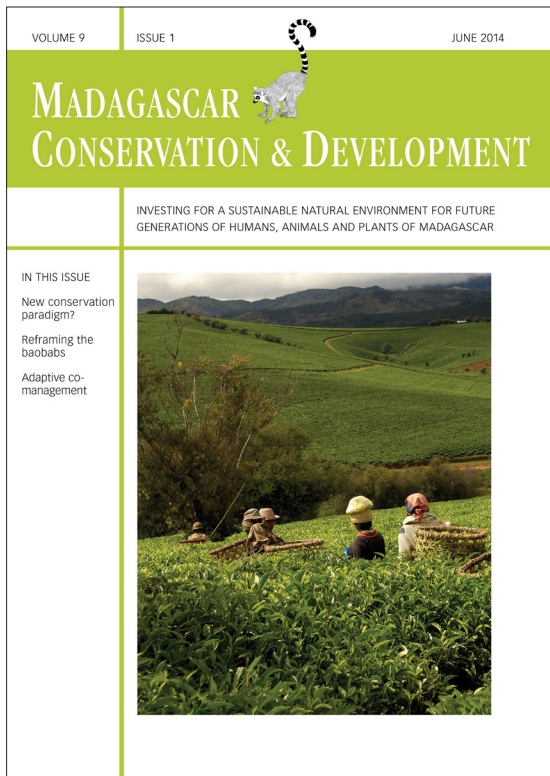
the Analalava forest in Foulpointe. Concerns over its invasion increase and even if eradication seems already impossible, we must now find an effective solution to control its expansion towards the protected area. Only chemical control may be considered for this species, given its resilience to cutting and fire. This study aims at identifying the best protocol for the use of glyphosate in controlling the invasion of *M. quinquenervia* in the Analalava forest in Foulpointe. Five solutions of different concentrations of glyphosate, S1 (0g/l), S2 (90g/l), S3 (180g/l), S4 (270g/l), and S5 (360g/l) were tested on 200 individuals, or 40 individuals for each solution. Glyphosate solutions were applied on the cut surface of the trunk of an individual using either a brush or a sprayer. The controls were done for four months by observing the status on treated individuals and the impacts of the treatment on non-target plants. Most individuals treated are dead, showing an 85% rate mortality. Some non-target plants were affected (19% of the surveyed ones), regardless of the concentration of active ingredient glyphosate and of the equipment used. From these experiments, the best protocol for the glyphosate use is a concentration of 90g/l of the active ingredient applied to the cut surface of the trunk treaty using a brush.

INTRODUCTION

Depuis *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*, le célèbre et prémonitoire livre de Charles Elton, paru en 1958, l'écologie des invasions biologiques est devenue une science importante qu'il s'agisse du contrôle de l'invasion ou de la gestion des espèces envahissantes en faisant intervenir de multiples disciplines (Richardson et al. 2008, Simberloff et al. 2012). Les espèces invasives, également appelées espèces envahissantes, sont des espèces animales ou végétales non originaires de l'écosystème dans lequel elles ont été déplacées intentionnellement ou par inadvertance. Par la suite, elles ont colonisé le milieu au détriment des espèces indigènes (Kümpel

¹ Missouri Botanical Garden, Madagascar Research & Conservation Program, Madagascar.

¹¹ Institut Supérieur de Sciences, Environnement et Développement Durable (ISSEDD) ex-GRENE, Université de Toamasina, Madagascar.



Madagascar Conservation & Development is the journal of Indian Ocean e-Ink. It is produced under the responsibility of this institution. The views expressed in contributions to MCD are solely those of the authors and not those of the journal editors or the publisher.

All the Issues and articles are freely available at <http://www.journalmcd.com>



Contact Journal MCD
info@journalmcd.net for general inquiries regarding MCD
funding@journalmcd.net to support the journal

Madagascar Conservation & Development
 Institute and Museum of Anthropology
 University of Zurich
 Winterthurerstrasse 190
 CH-8057 Zurich
 Switzerland

io@i

Indian Ocean e-Ink
 Promoting African Publishing and Education
www.ioeink.com

 MISSOURI BOTANICAL GARDEN

Missouri Botanical Garden (MBG)
 Madagascar Research and Conservation Program
 BP 3391
 Antananarivo, 101, Madagascar

et Baillie 2007). Le *Millennium Ecosystem Assessment (MEA)* a considéré que l'invasion biologique est la deuxième cause de diminution de la diversité biologique au niveau mondial, après la modification des habitats par l'Homme (MEA 2005). Les impacts de l'invasion sur la biodiversité concernent surtout la rupture des fonctions écologiques des écosystèmes indigènes, comme par exemple l'altération des habitats, le changement de structure originelle des écosystèmes et la menace de disparition des espèces autochtones. L'invasion biologique a aussi des impacts négatifs sur l'économie mondiale, au moins pour certains pays concernés comme les USA où les dommages financiers et le coût de contrôle des espèces envahissantes ont pu atteindre jusqu'à 138 milliards de dollars par an (Emerton et Howard 2008).

À Madagascar, l'Office Nationale pour l'Environnement (ONE 2007) a recensé une soixantaine d'espèces allogènes et répertoriées comme envahissantes. Cependant, l'état des connaissances sur l'impact de ces plantes envahissantes sur la biodiversité naturelle est encore limité et il n'y a presque pas d'exemples de projets qui visent à contrôler ces espèces. Parmi les plantes listées par l'ONE se trouve *Melaleuca quinquenervia*, de la famille des Myrtaceae. Cette plante est actuellement abondante dans les zones marécageuses autour de la forêt d'Analalava Foulpointe, une forêt dense humide sempervirente de basse altitude, série à *Anthostema* (Euphorbiaceae) et à Myristicaceae (Koechlin 1974), ou alternativement classée comme forêt dense humide selon Moat et Smith (2007). D'une superficie d'environ 224 hectares, la forêt abrite neuf espèces de plantes vasculaires localement endémiques et 23 espèces de palmiers. Elle constitue un refuge important pour des espèces animales comme *Eulemur albifrons*, et pour une énorme colonie de chauve-souris (*Pteropus rufus*) (Missouri Botanical Garden 2012). Cinq rivières prennent leur source dans cette forêt et ces rivières alimentent les rizières et marais des zones alentour (Tournier 2009).

En 2004, des botanistes de Missouri Botanical Garden (MBG) ont visité cette forêt d'Analalava pour découvrir qu'elle était menacée de destruction totale par l'extraction anarchique du bois, l'agriculture itinérante et les feux sauvages. Par conséquent, en 2005, l'organisation a lancé un projet de conservation à base communautaire pour conserver dans son intégralité la flore et la faune dans ces écosystèmes naturels en favorisant progressivement l'implication de la communauté locale. De 2006 à 2014, la forêt d'Analalava a été régie par un statut de protection temporaire, sous l'arrêté interministériel n°16072/2006-MINENVEF/MEM du 13 octobre 2006 et renouvelé en 2010. En 2014, les processus d'obtention du statut définitif en qualité de Nouvelle Aire Protégée étaient en cours. Le projet de conservation de la forêt d'Analalava a fait beaucoup de progrès dans la réduction des menaces représentées par l'exploitation du bois, l'agriculture itinérante et les feux sauvages, mais les espèces exotiques envahissantes comme *Melaleuca quinquenervia* sont abondantes sur le site et leurs nombres semblent être en augmentation. Il n'est malheureusement pas possible de tuer cet arbre en coupant simplement son tronc car la souche régénère rapidement. Cette régénération rapide est liée à la vigueur de son système racinaire (Geary et Woodall 1990).

Dans l'optique de réduire l'expansion de la population de *Melaleuca quinquenervia* dans la forêt d'Analalava, il est nécessaire d'établir une technique adéquate et appropriée pour

contrôler son envahissement dans cette forêt. La recherche décrite dans cet article a été entreprise dans l'objectif d'aider le gestionnaire de la forêt d'Analalava à élaborer un meilleur protocole d'utilisation du glyphosate pour lutter efficacement contre la propagation de cette plante. Il s'agissait d'identifier le meilleur protocole pour l'utilisation du glyphosate dans la lutte contre l'envahissement de *M. quinquenervia* dans la forêt d'Analalava. Trois questions se sont posées : 1) Quelle concentration minimum de glyphosate est nécessaire pour tuer au moins 80% des individus de *M. quinquenervia* traités ? 2) Quelle méthode d'application (pinceau ou pulvérisateur) est la plus efficace pour causer la mort des plantes traitées ? 3) Quels sont les impacts du traitement sur les plantes environnantes non ciblées ?

SITE D'ÉTUDE

La forêt d'Analalava se trouve sur la Commune rurale de Mahavelona-Foulpointe, District de Toamasina II dans la Région Atsinanana, entre les latitudes Sud 17°41' et 17°42', et les longitudes Est 49°26' et 49°27' (Figure 1). Se trouvant sur la façade orientale de Madagascar, cette forêt jouit d'un climat de plaine côtière bénéficiant de précipitations abondantes apportées par les alizés du Sud-est. Les précipitations moyennes annuelles étaient de 2 774 mm réparties sur 208 jours entre 2008 et 2012. La région est plus arrosée entre les mois de janvier et avril, et le pic de précipitations se situe au mois de mars. À partir du mois de mai, les précipitations diminuent et le mois d'octobre est le moins pluvieux. La température moyenne annuelle était de 28,6°C ; la température moyenne des mois les plus froids était de 23,75°C, ressentie à partir du mois de juillet jusqu'en octobre ; celle du mois le plus chaud était de 31°C en janvier (Missouri Botanical Garden 2012). Le site d'étude centré sur E049°27'33.3", S17°42'23.0", et 78m d'altitude est localisé juste en dehors de la forêt d'Analalava. Dans cette zone, le sol est de type sablonneux et la végétation est dominée par *Melaleuca quinquenervia*, *Grevillea banksii* et *Litsea glutinosa*, et occasionnellement associée à des arbres et arbustes indigènes comme *Macaranga obovata*, *Burasaia madagascariensis*, *Xylopia buxifolia* ou *Clerodendron* sp. Ce site a été choisi car il abritait une grande population de *M. quinquenervia* dans une zone réduite où les conditions environnementales (sol, topographie, hydrologie, structure de la végétation) sont homogènes.

MATÉRIELS ET MÉTHODE D'ÉTUDE

MATÉRIEL BIOLOGIQUE : *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) S.

T. Blake. Connu sous les noms malgaches *Kininindrano*, *Kininibonaky*, *Olimanitra*, le Niaouli rencontré à Madagascar

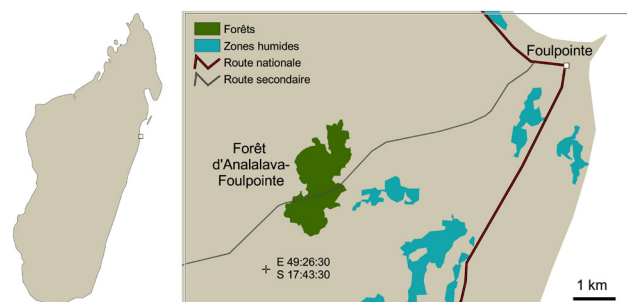


FIGURE 1. Localisation de la forêt d'Analalava-Foulpointe.

appartient à l'espèce *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) S. T. Blake de la famille des Myrtaceae (Blake 1968). La plante est originaire des pays de l'Ouest du Pacifique, de l'Australie aux Philippines, en Nouvelle-Guinée et en Nouvelle-Calédonie (Craven 1999). Elle a été introduite et plantée à Madagascar comme essence de reboisement dans les lagunes du littoral oriental (Cabanis et al. 1970). C'est un arbre de petite à moyenne taille, avec un tronc couvert de nombreuses couches d'écorces ignifuges de couleur blanche, et qui possède un système racinaire traçant avec plusieurs racines secondaires. Les feuilles simples de petites surfaces ont cinq nervures parallèles et renferment des cellules à essence dans le parenchyme lacuneux. Les fleurs blanches odorantes sont regroupées dans des inflorescences à faux épis allongés et cylindriques. Les fruits sont secs, capsulaires et déhiscents (Cherrier 1981). C'est une plante monoïque et, dans son habitat naturel, elle est pollinisée par des insectes, principalement par *Apis mellifera* (Geary et Woodall 1990). Après floraison, 30 à 70 fruits capsulaires sont formés et chaque fruit contient en moyenne 264 graines (Alexander et Hofstetter 1975). La durée de vie de ces graines dans le sol varie de 10 à 24 mois (Rayamajhi et al. 2002). La plante est peu exigeante et se rencontre quasiment dans tous les types de formations végétales depuis le niveau de la mer jusqu'à 800 m d'altitude. Elle est abondante et dominante voire envahissante dans les zones marécageuses (Holliday 1989). Elle accepte tous les types de substrat sauf les sols issus des roches ultrabasiqes (Hofstetter 1991).

CHOIX DES INDIVIDUS À TRAITER. Afin d'uniformiser les conditions des individus à traiter, certains critères de choix ont été adoptés. Le diamètre de la tige des individus devait être compris entre deux et dix centimètres. Le nombre de ramifications de base (moins de cinq) était aussi un critère. Les individus traités ne devaient pas être des rejets ou des souches. Au total, 200 individus de *M. quinquenervia* ont été étudiés. Ces individus ont été coupés avec une machette à une hauteur moyenne de 20 cm du sol, cinq minutes avant le traitement.

MATÉRIEL CHIMIQUE : LE GLYPHOSATE 360 SL.

Le glyphosate est un herbicide à large spectre systémique. Il est absorbé par les feuilles et les tiges (mais pas les racines) et est diffusé dans toute la plante par le phloème (Franz et al. 1997). L'action primaire de glyphosate est d'inhiber l'enzyme 5-énoylpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) : un enzyme chloroplastique localisé dans la voie de l'acide shikimique des plantes (Della Cioppa et al. 1986). Quoique la dérive aérienne du glyphosate puisse tuer les plantes non ciblées, ce produit chimique est relativement immobile dans la plupart de l'environnement du sol en raison de sa forte adsorption aux particules du sol et car il ne peut être absorbé par les racines (Schuette 1998). Dans cette étude, le glyphosate est utilisé avec une concentration de l'ingrédient actif de 360g par litre d'eau, il a été dilué pour avoir cinq solutions différentes S1, S2, S3, S4 et S5 de concentration de l'ingrédient actif de glyphosate respectivement de 0g/l (seulement de l'eau), de 90g/l (dilution à 75%), de 180g/l (dilution à 50%), de 270g/l (dilution à 25%) et de 360g/l (produit sans dilution supplémentaire).

CHOIX DE GLYPHOSATE. De nombreux types d'herbicides ont été utilisés auparavant pour le contrôle de *Melaleuca quinquenervia*, y compris 2,4,5-TP (Silvex), le diuron, le 2,4-D, le glyphosate (Laroche 1999, Langeland 2002). Le glyphosate a été choisi de préférence à d'autres herbicides pour son profil toxi-

cologique (Monsanto 2011). Il est considéré comme présentant peu de risques pour les animaux (Fishel et al. 2006) et n'est pas interdit à Madagascar (MINAGRI 2011).

ÉQUIPEMENT D'APPLICATION DE GLYPHOSATE : PINCEAU ET PULVÉRISATEUR. Pour chaque individu traité, une quantité de 50 ml d'une des solutions est appliquée sur la surface coupée du tronc en utilisant soit un pinceau, soit un pulvérisateur. Une quantité de 50 ml de la solution par individu a été jugée suffisante pour couvrir toute la surface du tronc coupé quel que soit la taille et le nombre de branches de l'individu traité. Au total, 10 traitements différents ont été effectués, chaque traitement a été appliqué sur un échantillon de 20 individus de *Melaleuca quinquenervia*. L'herbicide a été appliqué au cours des journées pour lesquelles la pluie n'était pas prévue pendant au moins six heures après l'application. Des précipitations immédiatement après l'application pouvaient en effet emporter l'herbicide et anéantir son efficacité (Vival 2009). Les traitements avaient une durée de quatre mois (de janvier à avril 2013) et pendant les suivis, les plantes ont été considérées comme mortes lorsque l'individu présentait une dessiccation sur le tronc avec une séparation de l'écorce sur le bois. En revanche, la présence d'une seule souche ou d'un seul bourgeon montrait que l'individu était vivant.

EFFET SECONDAIRE DU GLYPHOSATE SUR LES PLANTES VOISINES. Pour étudier l'impact des traitements sur les plantes ligneuses aux alentours des individus traités (plantes non ciblées), un quadrat de 1m x 1m a été monté en plaçant l'individu traité au centre. Dans ce quadrat, toutes les plantes ligneuses présentes (plantules ou adultes) ont été identifiées et comptées. La mortalité de ces plantes non ciblées a été basée sur la chute des feuilles et le flétrissement de bourgeons terminaux. Les plantes ligneuses non ciblées et sensibles au traitement pouvaient ainsi être connues au terme de cette étude.

RÉSULTATS

Les résultats du traitement sur les individus de *Melaleuca quinquenervia* sont résumés dans le Tableau 1. Ce tableau montre que les individus traités avec les solutions S2, S3, S4 et S5 en utilisant pinceau ou pulvérisateur accusent un taux de mortalité d'au moins 85%. En revanche, tous les individus traités avec la solution S1 ont vigoureusement donné des souches.

Certaines plantes non ciblées ont été touchées, quel que soit la concentration en ingrédient actif de glyphosate et l'équipement utilisés (Tableau 1). L'impact est remarquable (aux environs de 30%) pour les plantes autour des individus traités avec le pulvérisateur. De plus, l'impact est élevé (près de 40%) dans le cas où le glyphosate n'avait pas été dilué (S5). Dans l'ensemble, l'impact se montre relativement faible (19%) même si le taux de mortalité des plantes touchées par le glyphosate peut s'élever à 46% (Supplementary Material). Huit espèces de plantes non ciblées au traitement ont été répertoriées comme les plus sensibles au glyphosate. Tous les individus d'*Anthocleista amplexifolia* et *Dracaena reflexa* ont été tués et plus de 40% des individus de *Harungana madagascariensis* (41%), de *Phyllippia florumbida* (54%) et de *Macaranga obovata* (54%) étaient morts.

DISCUSSION

Nos résultats sur le taux de mortalité des individus de *Melaleuca quinquenervia* sont comparables à ceux de Langeland (2002)

TABLEAU 1. Effet du glyphosate sur les individus de *Melaleuca quinquenervia* et les plantes voisines non ciblées

Traitement		<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Plantes non ciblées dans les quadrats		
Protocole	Dilution	Taux de mortalité (%)	Nombre	Nombre des plantes affectées	Taux de mortalité (%)
Pinceau	S1 : 0g/l	0	13	0	0
	S2 : 90g/l	85	26	3	12
	S3 : 180g/l	100	48	0	0
	S4 : 270g/l	95	93	12	13
	S5 : 360g/l	95	38	14	37
Pulvérisateur	S1 : 0g/l	0	27	0	0
	S2 : 90g/l	90	16	6	38
	S3 : 180g/l	95	43	10	23
	S4 : 270g/l	95	46	15	33
	S5 : 360g/l	100	37	14	38
			387	74	19

qui a obtenu 100% de mortalité en utilisant du *Roundup Pro* (glyphosate 356g/L avec de surfactant) dilué à 50% et sans dilution. Le taux de mortalité élevé des plantes non ciblées avec le pulvérisateur peut être dû à l'infime quantité de glyphosate vaporisée pendant le traitement. Cet effet a également été décrit par Schuette (1998).

La mortalité des plantes non ciblées à côté des individus traités au pinceau a été inattendue et difficile à expliquer. L'herbicide a été appliqué avec soin sur les individus ciblés, de sorte qu'il n'est pas envisagé que le produit chimique ait été appliqué par erreur, hasard ou mégarde sur les plantes voisines. Habituellement, quand le glyphosate entre dans le sol il est fortement adsorbé par les particules du sol et ne peut pas être absorbé par les racines des plantes voisines (Glass 1987). Selon Ghassemim et al. (1981), des graines peuvent même germer sur un sol traité au glyphosate et aucun impact n'a été enregistré sur la germination de ces graines. Cependant, Neumann et al. (2006) ont noté que les sols très sableux n'adsorbent pas fortement le glyphosate et dans ces circonstances, ce produit chimique pourrait rester libre plus longtemps dans le sol et pourrait donc être absorbé par les racines des plantes voisines (Cornish 1992). Ainsi, la mortalité des individus non ciblés pourrait être due à la nature du sol du site d'expérimentation qui est de type sablonneux. Une autre explication possible de ce résultat est la circulation systémique de l'herbicide dans les racines des plantes traitées à la racine des plantes non ciblées avoisinantes au moyen de greffes racinaires (Bormann 1966, Lev-Yadun et Sprugel 2011). Les greffes racinaires sont communes entre les individus de la même espèce mais rarement signalées entre des individus d'espèces différentes (Tarroux et DesRochers 2011). Ici, les espèces les plus sensibles n'appartiennent pas au genre *Melaleuca* ni à la famille des Myrtaceae. Cet effet inattendu du glyphosate sur les plantes voisines mérite des études plus approfondies. En particulier, il serait intéressant de comparer l'impact du glyphosate sur des jeunes plants poussant sur un sol sablonneux par rapport à ceux qui se trouvent sur un sol argileux en imprégnant directement le glyphosate sur le sol. Il serait également opportun de réitérer l'expérience décrite ici et, lorsque la mortalité d'une plante non-ciblée adjacente à une plante traitée est observée, il conviendrait d'étudier la présence des nodules de greffes racinaires entre plantes traitées et plantes non traitées touchées.

La mortalité des plantes non ciblées poussant au voisinage des individus traités est un effet secondaire important de l'utilisation du glyphosate dans le contrôle de l'invasion de *Melaleuca quinquenervia*. Néanmoins, le gestionnaire de la forêt d'Analava pourrait considérer que cet effet est moins grave que les impacts négatifs associés à l'inaction pour contrôler cette plante envahissante. Si la gestion du site préconisait un contrôle chimique en utilisant ce glyphosate, le protocole à retenir sera la solution S2 contenant 90g de l'ingrédient actif de glyphosate par litre appliquée au pinceau sur la surface coupée du tronc traité. Cette approche permettra d'atteindre un taux de mortalité élevé de *M. quinquenervia* tout en minimisant le coût d'achat de l'herbicide ainsi que le taux de mortalité des plantes ligneuses voisines des individus traités.

CONCLUSION

Le glyphosate (360 g/l) est efficace pour tuer *Melaleuca quinquenervia* et ce même à faible concentration (90g/l). L'efficacité du pulvérisateur et du pinceau est comparable dans le traitement des individus cibles. En revanche, l'application par pulvérisateur a causé beaucoup plus de mortalité accidentelle et non désirée des plantes avoisinantes par rapport au traitement au pinceau. Selon cette étude, le meilleur protocole pour l'utilisation de glyphosate dans le contrôle de *M. quinquenervia* en tenant compte de son efficacité, son prix, et de ses impacts sur les plantes ligneuses avoisinantes, est d'utiliser le glyphosate à une concentration de 90g par litre, appliqué au pinceau sur la surface coupée du tronc. Il est souhaitable d'essayer une concentration encore plus faible (i.e. moins de 90g/l) qui pourrait être efficace pour tuer *M. quinquenervia*.

REMERCIEMENTS

La présente étude a été menée en collaboration avec la Gestion de Ressources Naturelles et Environnement (GRENE) de l'Université de Toamasina, l'association communautaire dite Velonala à Foulpointe et financée dans son intégralité par Missouri Botanical Garden à Madagascar. Nous présentons nos vifs remerciements à James Aronson, Christian Camara et Ralisa Andriamahavita pour leur aide dans la réalisation de nos travaux. Nous tenons également à remercier trois rapporteurs anonymes qui nous ont permis d'améliorer sensiblement une première version de cette contribution. L'obtention de permis de

recherche et l'organisation administrative et financière ont été facilitées par Jeannie Raharimampionona, Anselme Tilahimena que nous remercions ici. La réalisation des travaux sur le terrain n'aurait pas été possible sans les aides de Gervais, Lakandambo et Zézé. Nos remerciements vont également à tous les membres de l'association Velonala à Foulpointe.

RÉFÉRENCES

- Alexander, T. R. & Hofstetter, R. H. 1975. Some current ecological aspects of *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) Blake in southern Florida. Presented at Florida Academy of Science. 41st Annual Meeting, Lakeland FL. Disponible <<http://www.apms.org/japm/vol41/v41p98.pdf>>
- Blake, S. T. 1968. A revision of *Melaleuca leucadendron* and its allies (Myrtaceae). Contribution to the Queensland Herbarium 1: 1–114.
- Borrmann, F. H. 1966. The structure, function, and ecological significance of root grafts in *Pinus strobus* L. Ecological Monographs 36: 1–26. (doi:10.2307/1948486)
- Cabanis, Y., Cabanis, L. et Chabouis, F. 1970. Végétaux et Groupements Végétaux de Madagascar et des Mascareignes. Tome 1. Bureau pour le Développement de la Production Agricole, Tananarive.
- Cherrier, J. F. 1981. Les Essences Forestières Exploitable en Nouvelle Calédonie : Botanique, Technologie, Usages. Service des Eaux et Forêts, Paris.
- Cornish, P. S. 1992. Glyphosate residues in a sandy soil affect tomato transplants. Australian Journal of Environmental Agriculture 32, 3: 395–399. (doi:10.1071/EA9920395)
- Craven, L. A. 1999. Behind the names: the botany of tea tree, cajuput and niaouli. In: Tea Tree: The Genus *Melaleuca*. I. Southwell & R. Lowe (eds.), pp 11–28. Hardwood Academic Publishers.
- Della-Cioppa, G., Bauer, S. C., Klein, B. K., Shah, D. M., Fraley, R. T. & Kishore, G. 1986. Translocation of the precursor of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase into chloroplasts of higher plants in vitro. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 83: 6873–6877. (doi:10.1073/pnas.83.18.6873)
- Elton, C. S. 1958. The Ecology of Invasions by Animals and Plants. Methuen, London.
- Emerton, L. et Howard, G. 2008. Une Trousse à Outils de l'Analyse Économique des Espèces Envahissantes. Global Invasive Species Programme, Nairobi, Kenya. Disponible <http://www.issg.org/pdf/publications/GISP/Guidelines_Toolkits_BestPractice/Emerton&Howard_2008_FR.pdf>
- Fishel, F., Ferrell, J., MacDonald G. & Sellers B. 2006. Herbicides: How Toxic Are They? Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Disponible <<http://edis.ifas.ufl.edu>>
- Franz, J. E., Mao, M. K. & Sikorski, J. A. 1997. Glyphosate: A Unique Global Herbicide. American Chemical Society Monograph 189. American Chemical Society, Washington DC.
- Geary, T. F. & Woodall, S. L. 1990. *Melaleuca*. In: Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods. Agricultural Handbook 654. R. M. Burns & B. H. Honkala (eds.), pp 906–915. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service, Washington, DC. Disponible <http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/volume_2/silvics_v2.pdf>
- Ghassemi, M., Fargo, L., Painter, P., Quinlivan, S., Scofield, R. & Takata, A. 1981. Environmental Fates and Impacts of Major Forest Use Pesticides. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Pesticides and Toxic Substances. Washington, DC.
- Glass, R. L. 1987. Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals. Journal of Agricultural and Food Chemistry 35, 4: 497–500. (doi:10.1021/jf00076a013)
- Hofstetter, R. H. 1991. The current status of *Melaleuca quinquenervia* in southern Florida. In: Proceedings of the Symposium on Exotic Pest Plants, Miami, Florida, November 2–4, 1988. T. D. Center, R. F. Doren, R. L. Hofstetter, R. L. Myers & L. D. Whiteaker (eds.), pp 159–176. National Park Service, Denver, CO.
- Holliday, I. 1989. A Field Guide to Melaleucas. Hamlyn Australia.
- Koechlin J., Guillaumet, J.-L. et Morat, P. 1974. Flore et Végétation de Madagascar. J. Cramer, Vaduz.
- Kümpel, N. F. & Baillie, J. E. M. 2007. Options for a Global Indicator on Trends in Invasive Alien Species. Report to the Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal. January 2007 update. Disponible <<http://www.bipindicators.net/LinkClick.aspx?fileticket=YW1CVNpCQ80%3D&tabid=80&mid=693>>
- Langeland, K. 2002. Evaluation of three Glyphosate products for controlling adventitious sprouting of *Melaleuca* and Brazilian Pepper tree stumps. Wildland Weeds 5, 4: 4–7. Disponible <<http://www.se-eppc.org/wildlandweeds/pdf/Fall2002-Langeland-pp4-7.pdf>>
- Laroche, F. B. 1999. *Melaleuca* Management Plan: Ten Years of Successful Melaleuca Management in Florida 1988–1998. Florida Exotic Pest Plant Council. Disponible <http://www.fleppc.org/manage_plans/mplan.pdf>
- Lev-Yadun, S. & Sprugel, D. 2011. Why should trees have natural root grafts? Tree Physiology 31, 6: 575–578. (doi:10.1093/treephys/tptr061)
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington DC. Disponible <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>
- Ministère de l'Agriculture 2011. Arrêté interministériel n° 45. 555/2011 portant interdiction d'importation, de distribution, de vente, d'utilisation et de produits chimiques relevant du secteur industriel. Antananarivo, Madagascar.
- Missouri Botanical Garden (MBG). 2012. Annual report, Madagascar Research and Conservation Program, Conservation Unit.
- Moat, J. & Smith, P. 2007. Atlas of the Vegetation of Madagascar. Royal Botanical Gardens, Kew, UK.
- Monsanto. 2011. Roundup Pro, Biactive Herbicide: Product Information Guide. Monsanto, Cambourne, Cambridge, UK.
- Neumann, G., Kohls, S., Landsberg, E., Stock-Oliveira, S. K., Yamada, T. & Römhild, V. 2006. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. Journal of Plant Diseases and Protection Special Issue XX: 963–969.
- Office National de l'Environnement (ONE). 2007. Tableau de bord environnemental.
- Rayamajhi, M. B., Purcell, M. F., Van, T. K., Center, T. D., Pratt, P. D. & Buckingham, G. R. 2002. Australian paperbark tree. In: Biological Control of Invasive Plants in the Eastern United States. R. Van Driesche, B. Blossey, M. Hoddle, S. Lyon & R. Reardon (eds.), pp 117–138. U.S. Forest Service, Morgantown, West Virginia.
- Richardson, D. M. & Pysek, P. 2008. Fifty years of invasion ecology – the legacy of Charles Elton. Diversity and Distributions 14, 2: 161–168. (doi:10.1111/j.1472-4642.2007.00464.x)
- Schuette, J. 1998. Environmental fate of glyphosate. Environmental Monitoring & Pest Management : 1–13. Disponible <<http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/glyphos.pdf>>
- Simberloff, D., Martin, J.-L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A. et al. 2013. Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. Trends in Ecology & Evolution 28, 1: 58–66. (doi:10.1016/j.tree.2012.07.013)
- Tarroux E. & DesRoches A. 2011. Effect of natural root grafting on growth response of Jack pine (*Pinus banksiana*; Pinaceae). American Journal of Botany 98: 967–974.
- Tournier, T. 2009. Cartographie du réseau hydrographique de l'aire protégée d'Analalava Foulpointe. Rapport de fin d'étude en Master 2 Pro « Dynamique des Ecosystemes Aquatiques », Université de Pau et des pays de l'Adour. <<http://master-dynea.unive-peu.fr/>> téléchargé le 1^{er} février 2014.
- Vival. 2009. Glyphosate 360g/l, produit pour les professionnels : respecter les conditions d'emploi. Belchim Crop Protection France SA.

SUPPLEMENTARY MATERIAL.

AVAILABLE ONLINE ONLY.

TABLE S1. Liste des plantes non ciblées sensibles au glyphosate.