

# 13 — Influence des reboisements d'eucalyptus (*Eucalyptus robusta*) et de pin (*Pinus kesiya*) sur la régénération naturelle de *tapia* (*Uapaca bojeri*) en forêt d'Arivonimamo

Olivia L. RAKOTONDRA SOA, Julien STEIN, Astrid AYPAL, Quentin PONETTE, Gabrielle L. RAJOELISON, François MALAISSE, Bruno S. RAMAMONJISOA, Noromalala RAMINOSOA, François J. VERHEGGEN, Marc PONCELET, Éric HAUBRUGE, Jan BOGAERT

Face à la dégradation continue des formations de *tapia* (*Uapaca bojeri*), le reboisement en *Pinus* sp. et en *Eucalyptus* sp. a figuré parmi les alternatives adoptées à Arivonimamo pour substituer le *tapia* dans la production de bois de chauffage. Or, actuellement, l'envahissement par ces espèces exotiques constitue une des menaces qui pèsent sur la forêt de *tapia* à Madagascar. Dans ce cadre, cette étude avait pour objectif d'analyser la régénération de la forêt de *tapia* d'Arivonimamo. Pour ce faire, l'approche a consisté en l'identification des « zones de contact » entre des peuplements d'espèces exotiques, *Pinus kesiya* ou *Eucalyptus robusta*, et des peuplements d'*U. bojeri* permettant d'étudier la régénération le long de transects partant des peuplements exotiques et se dirigeant dans les peuplements indigènes, et ceci dans chaque direction cardinale. De cette étude, il ressort que la densité de la régénération de *tapia* varie d'un site à un autre. Il apparaît également que les capacités d'envahissement par *P. kesiya* sont bien plus importantes que celles de *E. robusta*. Par ailleurs, la densité des semis de pin sous les plantations correspondantes est faible. En outre, il est ressorti également que le taux d'ouverture du couvert ligneux n'influçait pas significativement le développement de la régénération des trois essences. Ce taux d'ouverture est lié à différentes activités anthropiques telles que les collectes des produits forestiers non-ligneux (*tapia*), les opérations sylvicoles de nettoyage (pin) et la coupe précoce (eucalyptus).

## **Influence of afforestation with eucalyptus (*Eucalyptus robusta*) and pin (*Pinus kesiya*) on the natural regeneration of *tapia* (*Uapaca bojeri*) in the forest of Arivonimamo**

Confronted with the ongoing degradation of the *tapia* woodlands (*Uapaca bojeri*), reforestation by *Pinus* sp. and *Eucalyptus* sp. was considered as an alternative in Arivonimamo to substitute *tapia* for the production of firewood. However, the invasion by these alien species is actually considered as one of the threats to the *tapia* woodland in Madagascar. In this context, this study aimed to analyze the regeneration of the *tapia* woodlands in Arivonimamo. Consequently, “contact zones” between stands of exotic species, *Pinus kesiya* or *Eucalyptus robusta*, and *U. bojeri* were identified, in order to study tree regeneration along transects in each cardinal direction starting inside the exotic forests and continuing into the native populations. This study showed that the density of *tapia* regeneration varied between sites. It also appeared that the capacity of *P. kesiya* to invade the *tapia* woodland is much higher than for *E. robusta*. Moreover, the regeneration of pine inside the pine's plantations was rather low. In addition, it was observed that the canopy opening rate had no significant influence on the development of the regeneration of the three species involved. Differences in canopy opening are due to various human activities such as the collection of non-timber forest products (*tapia*), the forestry operation of cleaning (pine) and early cutting (eucalyptus).

## 13.1. INTRODUCTION

La forêt de *tapia* (*Uapaca bojeri* Baill.), formation végétale endémique de Madagascar, constitue une ressource naturelle de première importance pour les populations villageoises avoisinantes. En effet, pour ces dernières, les produits forestiers issus de cette formation végétale contribuent de manière importante au revenu des ménages (Kull et al., 2005). De ce fait, une forte dépendance des communautés riveraines vis-à-vis de cette formation végétale a engendré des pressions et des menaces sur l'écosystème en question (Randrianarisoa et al., 2008). Un des dangers menaçant cet habitat est l'introduction d'essences exotiques à des fins sylvicoles. En effet, depuis plus d'un siècle, les reboisements de pins et d'eucalyptus se multiplient à Madagascar (Bertrand, 1999; Carrière et al., 2007). Or, depuis quelques années, le risque d'invasion biologique des forêts naturelles malgaches par ces essences exotiques, est pointé du doigt (Kull et al., 2005; Carrière et al., 2007). En effet, selon Kull et al. (2005), la menace principale des forêts de *tapia* n'est ni la coupe, ni le feu, mais semble être liée à l'envahissement par des espèces exotiques, en lien avec la dispersion de plantations d'eucalyptus et de pin à l'intérieur de cette formation. La colonisation spontanée par ces espèces pourrait nuire aux peuplements de *tapia*, car elles sont caractérisées par un tempérament héliophile et une croissance rapide. Dans ce cadre, cette recherche avait pour objectif d'étudier la régénération des espèces exotiques (*Eucalyptus robusta* Royle ex Gordon, *Pinus kesiya* Smith) et indigène (*U. bojeri*) dans les zones de contact entre plantations et forêt naturelle de *tapia*, dans la commune d'Arivonimamo. Ainsi, trois hypothèses étaient à vérifier : (1) il y a envahissement de l'espèce indigène par les espèces exotiques : les densités de semis d'*E. robusta* et de *P. kesiya* sont supérieures ou égales à celle d'*U. bojeri* au sein du peuplement *tapia*; (2) il existe une relation entre la densité de la régénération de *tapia* et celle des essences exotiques au sein du peuplement de *tapia*; (3) l'abondance de la régénération est en relation avec l'ouverture du couvert; la mise en lumière favoriserait le développement des semis et du sous-bois.

## 13.2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 13.2.1. Milieu d'étude

L'étude a été réalisée au sein de la commune rurale d'Arivonimamo, dans la partie centrale de Madagascar. Située à 47°10E et 19°02S, la zone d'étude se localise à environ 50 km à l'Ouest d'Antananarivo et fait partie intégrante du district d'Arivonimamo, dans la région d'Itasy. La topographie y très variée avec des collines, de grandes plaines, des cônes volcaniques et d'étroites vallées (Klein, 2002). La région est soumise à un climat de type tropical d'altitude caractérisé par deux saisons contrastées : une saison sèche et fraîche qui s'étale d'avril jusqu'à octobre suivie par une saison chaude de novembre à mars. La température moyenne est de 17,7°C et les précipitations moyennes atteignent 1474 mm par an, réparties sur six mois.

Dans la région d'Arivonimamo, les forêts de *tapia* représentent les derniers vestiges d'une végétation forestière primaire (Barale, 2010; Rakotondrasoa et al., 2013, chapitre 12). Elles se présentent sous la forme de forêts claires ou de savanes arbustives dominées par le *tapia* ou *U. bojeri* appartenant à la famille des Phyllanthaceae selon le système APG III. Le *tapia* est une espèce endémique de petite taille et sclérophylle (Kull et al., 2005; Rakotondrasoa et

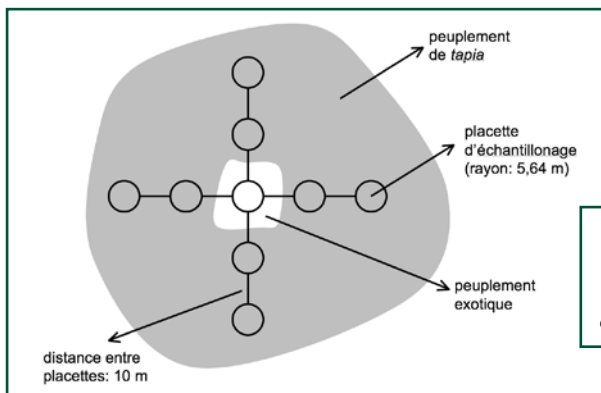
al., 2012 ; 2013, chapitre 8 ; chapitre 12). À cette formation naturelle s'ajoutent des plantations d'*Eucalyptus* sp. et de *Pinus* sp., qui ont pour vocation de se substituer au bois de *tapia* pour la production de bois d'énergie (**Figure 13.1**, voir cahier couleur).

### 13.2.2. Collecte des données

Le choix des sites d'inventaire s'est basé sur l'identification de « zones de contact » entre des peuplements d'espèces exotiques, *P. kesiya* ou *E. robusta*, et des peuplements d'*U. bojeri* ; on a considéré donc deux types de sites : sites « eucalyptus-*tapia* » et sites « pin-*tapia* ». Cette approche a permis d'étudier la régénération le long de transects partant des peuplements exotiques dans chaque direction cardinale et se dirigeant dans les peuplements indigènes ; le nombre de transects a toutefois varié de 1 à 4 par site selon la configuration du paysage d'Arivonimamo. Pour ce faire, une première placette circulaire d'échantillonnage de 1 are, soit 5,64 m de rayon, était placée à l'intérieur du peuplement de pin ou d'eucalyptus ; ensuite, deux placettes circulaires, de même surface que la précédente et distantes de 10 m (périmètre à périmètre), ont été implantées le long de chaque transect. Dans chaque site, les inventaires ont ainsi été réalisés dans une placette unique pour les espèces exotiques et dans plusieurs placettes pour le peuplement de *tapia* (**Figure 13.2**). Les caractéristiques suivantes ont été relevées pour chaque placette : la pente, le pH du sol en utilisant un pH-mètre, le taux d'ouverture du couvert au moyen d'un densiomètre sphérique convexe, la densité du sous-bois et les traces de feu. Pour chaque individu ayant une hauteur totale supérieure à 2 m, les paramètres suivants ont été relevés : le nom vernaculaire, la circonférence à hauteur de poitrine et la hauteur totale. Pour chaque placette de mesure, une étude de la régénération a été effectuée. La régénération regroupe tous les individus des essences arborées ayant une hauteur totale inférieure à 2 m, y compris les semis de quelques centimètres de hauteur. Pour ces individus, nous avons déterminé l'espèce en question ainsi que la hauteur totale et la circonférence au collet.

Au total, les données ont été récoltées sur 9 sites de type « eucalyptus-*tapia* » (47 placettes) et 11 sites de type « pin-*tapia* » (56 placettes). La période de récolte des données était située entre le 1 février et le 16 avril 2011 à Arivonimamo.

Afin de tester les hypothèses de travail, nous avons recouru à la réalisation des tests statistiques : le test *U* de Mann-Whitney pour la comparaison de moyennes de façon non-paramétrique et le test de corrélation pour étudier la relation entre deux variables.



**Figure 13.2.** Dispositif d'inventaire utilisé lors des récoltes de données sur la régénération en forêt de *tapia* d'Arivonimamo, de février à avril 2011.

### 13.3. RÉSULTATS

#### 13.3.1. Caractéristiques des peuplements

Les résultats obtenus après traitement des différentes données recueillies sont synthétisés dans les **tableaux 13.1** et **13.2**.

**Tableau 13.1.** Caractéristiques des sites « eucalyptus-tapia ». Les résultats sont basés sur les données recueillies dans 47 placettes de 1 are au sein de la forêt d'Arivonimamo.

Sites eucalyptus-tapia				Densité (N/ha)		Circonférence moyenne (cm)		Hauteur moyenne (m)		Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)		Taux d'ouverture (%)	
N°	Altitude (m)	Pente (°)	pH	eucalyptus	tapia	eucalyptus	tapia	eucalyptus	tapia	eucalyptus	tapia	eucalyptus	tapia
1	1409	11,4	6,3	2000	2100	17,3	26,1	6,5	5,8	5,7	17,6	33,2	38,4
2	1385	8,6	6,2	3100	1975	26,0	26,5	12,0	7,8	20,4	16,6	6,8	33,2
3	1400	10,1	6,1	3500	1700	19,6	32,1	12,0	7,0	20,1	16,6	14,2	31,7
4	1438	15,7	6,1	900	1650	17,3	32,5	7,5	7,8	3,1	17,5	73,1	33,4
5	1416	14,3	6,2	1700	900	21,9	37,5	6,5	6,5	8,5	12,5	23,8	63,9
6	1394	10,0	6,2	2600	800	15,4	39,7	8,0	6,5	7,7	14,0	34,3	38,1
7	1407	6,8	6,1	3700	2200	13,6	27,1	5,0	6,8	7,1	21,1	66,6	28,9
8	1382	16,4	6,0	2600	2200	13,7	24,5	12,0	11,7	5,8	20,0	40,2	33,5
9	1380	14,3	6,1	2900	2350	24,6	27,0	13,0	6,5	15,6	19,9	28,8	37,1
<b>Moyenne</b>				2556	1764	18,8	30,3	9,2	7,4	10,4	17,3	35,7	37,6
<b>Test U Mann-Whitney</b>				<b>p&lt;0,05</b>		<b>p&lt;0,001</b>		<b>p&gt;0,05</b>		<b>p&gt;0,05</b>		<b>p&lt;0,05</b>	

**Tableau 13.2.** Caractéristiques des sites « pin-tapia ». Les résultats sont basés sur les données recueillies dans 56 placettes de 1 are au sein de la forêt d'Arivonimamo. ND = non-disponible.

Sites pin-tapia				Densité (N/ha)		Circonférence moyenne (cm)		Hauteur moyenne (m)		Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)		Taux d'ouverture (%)	
N°	Altitude (m)	Pente (°)	pH	pin	tapia	pin	tapia	pin	tapia	pin	tapia	pin	tapia
1	1403	6,8	6,2	4300	2025	45,4	23,4	16,5	6,0	33,2	14,5	6,3	40,5
2	1393	13,6	ND	2500	2150	57,9	27,3	20,0	7,3	43,1	22,0	5,1	29,2
3	1369	15,0	6,2	2000	1450	54,2	28,9	14,0	6,0	33,5	13,0	36,4	56,8
4	1349	13,7	6,2	1800	1800	35,8	39,2	14,0	6,5	21,4	28,8	30,7	23,3
5	1344	13,4	6,3	2000	1383	55,8	29,9	12,0	7,0	37,3	15,9	11,5	58,5
6	1345	18,4	6,2	2300	1075	32,5	37,7	11,0	6,8	21,5	21,2	34,6	58,2
7	1363	16,3	ND	2500	1860	25,9	29,9	12,0	6,8	26,7	19,4	14,4	42,5
8	1390	14,4	ND	3600	2100	55,8	41,1	17,0	7,0	46,1	20,9	3,2	17,0
9	1338	14,3	ND	1900	1650	55,8	30,8	15,0	6,8	37,8	15,6	6,4	26,0
10	1371	9,8	ND	3500	1150	44,4	24,5	15,5	5,1	48,7	17,0	12,6	65,8
11	1370	12,6	ND	3300	2375	37,4	24,7	15,0	6,3	39,5	7,7	15,3	43,6
<b>Moyenne</b>				2700	1729	45,6	30,7	14,7	6,5	35,4	17,8	16,1	42,0
<b>Test U Mann-Whitney</b>				<b>p&lt;0,01</b>		<b>p&lt;0,01</b>		<b>p&lt;0,001</b>		<b>p&lt;0,001</b>		<b>p&lt;0,01</b>	

Les valeurs de pH sont relativement proches ; la moyenne de toutes ces valeurs est de 6,2 avec un écart-type de 0,2 ; ce qui correspond à un coefficient de variation faible de 0,03 %. Ces différences non-significatives des valeurs de pH ne permettent pas d'expliquer les différences de densités de semis entre sites. De même, l'altitude est relativement constante de site en site. Les valeurs minimales et maximales sont respectivement de 1 338 m et de 1 438 m.

Le nombre de tiges par hectare dans les peuplements exotiques varie entre 900 et 3 700 pour les peuplements d'*Eucalyptus* et entre 1 800 et 4 300 pour les peuplements sources de *Pinus*. Ces densités présentent des différences significatives comparées à celle du peuplement de *tapia*.

Pour les sites « pin-*tapia* », une différence significative est observée pour les différents paramètres, à savoir la circonférence moyenne des arbres, la hauteur moyenne des arbres, la surface terrière et le taux d'ouverture du couvert ; le peuplement de pin présente des valeurs plus élevées pour tous ces paramètres. Par contre, les hauteurs moyennes des eucalyptus et des *tapias* ne sont pas significativement différentes. Cette situation pourrait traduire que ces plantations d'eucalyptus sont relativement récentes. Par ailleurs, le taux d'ouverture du couvert n'est pas significativement différent de celui du peuplement de *tapia*, qui est également une formation ouverte.

### 13.3.2. Analyse de la régénération naturelle

En premier lieu, nous avons caractérisé la régénération de *tapia* et la régénération exotique observée dans les peuplements de *tapia*. Le **tableau 13.3** reprend la proportion de placettes localisées dans les peuplements de *tapia* qui contiennent (1) des semis de *tapia* et (2) des semis d'essences exotiques.

**Tableau 13.3.** Proportion des placettes présentant une régénération. Les données sont basées sur des relevés effectués sur 38 placettes au sein de sites « eucalyptus-*tapia* » et 45 placettes au sein de sites « pin-*tapia* » à Arivonimamo. La surface d'une placette est de 1 are.

	Proportion de placettes présentant de la régénération de <i>tapia</i> (%)	Proportion de placettes présentant de la régénération d'une espèce exotique (%)
Sites « eucalyptus- <i>tapia</i> »	100	21
Sites « pin- <i>tapia</i> »	71	76

Le **tableau 13.3** montre qu'au sein des sites du type « eucalyptus-*tapia* », toutes les placettes *tapia* présentent de la régénération de *tapia*. Cette dernière est présente dans 71 % des placettes inventoriées à l'intérieur des sites « pin-*tapia* ». Quant à la régénération des essences exotiques dans les peuplements de *tapia*, on constate que les placettes contenant des semis de pins sont beaucoup plus fréquentes que les placettes contenant des semis d'eucalyptus. En effet, environ 75 % des placettes situées dans un peuplement de *tapia* entourant un peuplement de pin contiennent des semis de pin, alors que ce taux n'atteint pas 25 % pour le cas de l'eucalyptus. En outre, 50 % des placettes situées dans les peuplements de *tapia* contiennent des semis d'espèces exotiques pour toutes espèces confondues.

Le **tableau 13.4** montre que la régénération de *tapia* est relativement homogène, que ce soit à proximité d'un peuplement de pin ou d'eucalyptus (respectivement 1 444 et 1 900 semis/ha).

La régénération d'eucalyptus est relativement faible en termes de densité par rapport à celle de *tapia*. Par contre, la régénération de pin est beaucoup plus abondante que celle de l'eucalyptus au sein du peuplement de *tapia*. Il est également important de remarquer que, pour les sites de type «pin-*tapia*», les densités de la régénération des deux espèces ne présentent pas de différences significatives.

**Tableau 13.4.** Effectif et densité des semis (*tapia*, *Eucalyptus* ou *Pinus*) dans les peuplements de *tapia*. Les données sont basées sur des relevés effectués sur 38 placettes au sein de sites «eucalyptus-*tapia*» et 45 placettes au sein de sites «pin-*tapia*» à Arivonimamo. La surface d'une placette est de 1 are. Le semis ou régénération regroupe tous les individus ligneux ayant une hauteur inférieure à 2 m.

	Surface cumulée des placettes (ha)	<i>Tapia</i>		Espèce exotique		Test U de Mann-Whitney
		Nombre de semis	Densité (N/ha)	Nombre de semis	Densité (N/ha)	
Sites «eucalyptus- <i>tapia</i> »	0,38	722	1900	41	108	p<0,001
1	0,04	86	2150	0	0	
2	0,04	76	1900	0	0	
3	0,06	56	933	3	50	
4	0,04	54	1350	15	375	
5	0,04	63	1575	12	300	
6	0,04	133	3325	0	0	
7	0,04	67	1675	0	0	
8	0,06	115	1917	3	50	
9	0,02	72	3600	8	400	
Sites «pin- <i>tapia</i> »	0,45	650	1444	752	1671	p>0,05
1	0,04	31	775	0	0	
2	0,04	101	2525	0	0	
3	0,04	44	1100	26	650	
4	0,02	111	5550	7	350	
5	0,06	176	2933	331	5517	
6	0,04	58	1450	75	1875	
7	0,05	23	460	71	1420	
8	0,04	92	2300	36	900	
9	0,04	11	275	59	1475	
10	0,04	2	50	84	2100	
11	0,04	1	25	63	1275	

Les résultats des tests de corrélation entre la densité de la régénération du *tapia* et la densité des deux autres espèces par placette sont présentés dans le **tableau 13.5**. Pour les deux types de sites considérés, les résultats sont similaires; une corrélation significative existe entre le nombre de semis de *tapia* et le nombre de semis des espèces exotiques. Cette corrélation est négative; ce qui signifie que plus la régénération de *tapia* est abondante plus celle des autres espèces est réduite, ou inversement.

**Tableau 13.5.** Nombre cumulé de semis (*tapia*, *Eucalyptus*, *Pinus*) par site, et corrélation entre densité des semis de *tapia* et densité des essences exotiques pour les deux types de sites. Les données sont basées sur des relevés effectués dans 47 placettes au sein de sites «eucalyptus-*tapia*» et dans 56 placettes au sein de sites «pin-*tapia*» à Arivonimamo. La surface d'une placette est de 1 are. Le semis ou régénération regroupe tous les individus ligneux ayant une hauteur inférieure à 2 m.

	Nombre cumulé de semis			Coefficient de corrélation $r$ (p valeur)
	<i>Tapia</i>	<i>Eucalyptus</i>	Pin	
Sites «eucalyptus- <i>tapia</i> »	791	177	22	-0,39 (p<0,01)
1	91	5	0	
2	83	0	1	
3	56	6	5	
4	59	104	0	
5	65	18	3	
6	137	15	2	
7	67	2	0	
8	134	10	0	
9	99	17	11	
Sites «pin- <i>tapia</i> »	841	0	817	-0,38 (p<0,01)
1	32	0	3	
2	101	0	6	
3	45	0	47	
4	140	0	7	
5	217	0	334	
6	72	0	100	
7	50	0	71	
8	147	0	36	
9	31	0	66	
10	2	0	84	
11	4	0	63	

Le **tableau 13.6** présente les résultats des tests de corrélation entre le nombre de semis d'espèces exotiques dans les peuplements exotiques mêmes et dans les peuplements de *tapia*. Il indique qu'il n'existe pas de corrélation significative entre ces deux variables pour les deux espèces exotiques, que sont *P. kesiya* et *E. robusta*.

L'analyse des relations entre l'abondance de la régénération et le taux d'ouverture du couvert pour les trois essences étudiées n'a révélé aucune corrélation significative ( $p > 0,05$ ).

**Tableau 13.6.** Comparaison entre le nombre de semis d'espèces exotiques par placette dans les peuplements exotiques et dans les peuplements de *tapia*. Les données sont basées sur des relevés effectués sur 47 placettes au sein de sites «eucalyptus-*tapia*» et 56 placettes au sein de sites «pin-*tapia*» à Arivonimamo. La surface d'une placette est de 1 are. Le semis ou régénération regroupe tous les individus ligneux ayant une hauteur inférieure à 2 m.

	Nombre de semis d'espèces exotiques par placette		Coefficient de corrélation r (p valeur)
	dans peuplement exotique	dans peuplement de <i>tapia</i>	
Sites «eucalyptus- <i>tapia</i> »			
1	5	0	0,56 (p>0,05)
2	0	0	
3	3	3	
4	89	15	
5	6	12	
6	15	0	
7	2	0	
8	7	3	
9	9	8	
Sites «pin- <i>tapia</i> »			
1	3	0	-0,05 (p>0,05)
2	6	0	
3	21	26	
4	0	7	
5	3	331	
6	25	75	
7	0	71	
8	0	36	
9	7	59	
10	0	84	
11	0	63	

## 13.4. DISCUSSION

Le nombre de sites d'étude a été influencé par la configuration du paysage boisé d'Arivonimamo, caractérisée par des formations fragmentées (Rakotondrasoa, 2012). Il aurait sans aucun doute été intéressant de prendre des mesures sur un plus grand nombre de sites ; l'idéal aurait été de réaliser quatre transects par site d'étude (un dans chaque direction cardinale), mais ceci était impossible puisque la plupart des peuplements exotiques n'étaient pas entièrement entourés de peuplements du *tapia*. Néanmoins, les données collectées nous ont permis de vérifier les hypothèses de travail.

L'altitude étant relativement constante entre les sites, il a été difficile de mettre en évidence un quelconque effet de cette variable sur la régénération des essences indigènes et exotiques. Remarquons que les altitudes rencontrées dans la zone d'étude correspondent aux exigences écologiques de *U. bojeri* (Gade, 1985), ainsi qu'à celles de *P. kesiya* et *E. robusta* qui présentent une haute capacité d'adaptation à différentes conditions bioclimatiques (Chaix et al., 2001). En effet, les eucalyptus et les pins peuvent être même plantés dans des formations herbeuses qui sont en abondance sur les Hautes Terres malgaches (Trouve et al., 1996). Par ailleurs, le



fait que tous les sites d'étude présentent une valeur de pente relativement similaire traduit une certaine logique écologique dans l'occupation du paysage. En effet, dans la zone d'étude, les plateaux sont généralement le lieu privilégié d'installation de cultures diverses, tandis que les fonds de vallées sont couverts de rizières (Rakotondrasoa, 2012). Les forêts se localisent sur les versants.

Les nombres de tiges par hectare dans les peuplements exotiques paraissent relativement élevés comparés à celui de *tapia*. Cette situation pourrait être expliquée par le fait qu'il s'agit de reboisements : les paysans tentent de maximiser la production malgré la surface réduite des parcelles de reboisement (Rakotondrasoa, 2012). Ces plantations ont pour vocation de remplacer le bois de *tapia* dans leur rôle de production de bois d'énergie (Carrière et al., 2007; Rakotondrasoa et al., 2012, chapitre 8). En outre, la densité de tiges (hauteur totale > 2 m) de *tapia* observée dans cette étude est relativement élevée comparée à celle trouvée par Rakotoniaina (2010) dans la même zone d'étude, à savoir 660 pieds/ha pour la forêt dense et 555 pieds/ha pour la forêt moyennement dense, et par Rakotondrasoa et al. (2013, chapitre 12) qui ont observé 941 pieds/ha pour la forêt dense et 597 pieds/ha pour la forêt claire. Cette densité élevée pourrait être liée au nombre relativement limité de parcelles dans notre dispositif; alternativement, cette différence de densité entre études pourrait également s'expliquer par la manière de comptabiliser les arbres polycaulés.

Les différences de circonférences moyennes constatées entre les essences exotiques traduisent probablement les différences d'usages de ces deux espèces. En effet, ces chiffres suggèrent que le diamètre d'exploitation de *P. kesiya* soit plus élevé que celui d'*E. robusta*. Cette dernière essence est principalement utilisée comme bois de chauffage dans la zone d'étude (Chaix et al., 1998), ce qui se traduit par un terme d'exploitabilité plutôt faible (Bertrand, 1999). Les arbres seraient donc coupés plus précocement que les tiges de *P. kesiya*. Cette dernière essence est principalement utilisée comme bois de construction, ce qui implique une dimension d'exploitabilité plus élevée (Rasolomanana, 1995). Ces différences d'usage pourraient largement conditionner le potentiel de régénération de ces deux essences. En effet, si les tiges d'*E. robusta* sont exploitées très jeunes, ils n'auront pas encore atteint leur maturité sexuelle (Poore et al., 1986) au moment de l'exploitation, entraînant une régénération moins abondante que celle de *P. kesiya*, dont la sylviculture engendrera l'atteinte de la maturité sexuelle. Une autre explication possible aux différences de circonférences moyennes constatées entre ces deux espèces pourrait être liée à la taille relativement faible de l'échantillon.

Quant à la hauteur dominante des peuplements, le fait que celle des peuplements de pin soit plus importante que celle des peuplements de *tapia* pourrait s'avérer problématique pour la pérennité de cet écosystème endémique. En effet, *U. bojeri* est une essence héliophile (Kull et al., 2005; Rakotondrasoa et al., 2012, chapitre 8). Le fait que les pins atteignent des hauteurs dominantes plus élevées pourrait diminuer la quantité de lumière disponible dans les peuplements de *tapia*, entravant leur croissance et le développement de leur régénération.

*E. robusta* présente une densité de régénération relativement inférieure à celle d'*U. bojeri* au sein du peuplement de *tapia*; ce qui n'est pas le cas de *P. kesiya*. Ce dernier ne présente pas de différence significative comparé à l'*U. bojeri* en terme d'abondance de régénération dans la forêt d'Arivonimamo. L'hypothèse 1, qui stipule que les densités de semis d'*E. robusta* et de *P. kesiya* sont supérieures ou égales à celle d'*U. bojeri* au sein du peuplement *tapia*, est donc acceptée partiellement. Autrement dit, il y a invasion de pin dans le peuplement de *tapia*. Par ailleurs, le fait que plus de 50% des placettes situées dans les peuplements de

*tapia* contiennent des semis d'espèces exotiques est inquiétant quant au pouvoir invasif de ces espèces. Une espèce est qualifiée d'« invasive » s'il s'agit d'une espèce naturalisée qui se reproduit souvent en grand nombre et qui peut se répandre sur une aire considérable, causant des dommages aux espèces autochtones (Emerton et al., 2008).

Quant à l'hypothèse 2 (il existe une relation entre la densité de semis de *tapia* et la densité de semis des essences exotiques au sein des peuplements de *tapia*), les tests effectués ont mis en évidence des corrélations négatives et significatives entre le nombre de semis de *tapia* observés dans une placette, et les semis des espèces exotiques observés au même endroit. Ce résultat pourrait sans doute s'expliquer de différentes manières. D'une part, si la régénération de *tapia* est abondante sur une placette, on peut supposer que ces jeunes végétations de *tapia* forment une sorte de barrière difficilement franchissable pour les graines des essences exotiques. Une autre explication serait la compétition exercée par les semis de *tapia* sur les semis d'essences exotiques. D'un autre côté, ces corrélations négatives peuvent aussi suggérer que l'espace non occupé par les semis de l'espèce endémique peut être colonisé par les semis des essences exotiques ; à ce titre, tout facteur conduisant à réduire le potentiel de régénération de *tapia* tel que le pâturage ou le piétinement lors des collectes des fruits et des cocons de ver à soie, devrait être étroitement contrôlé. Enfin, il n'est pas exclu que ces corrélations négatives soient le résultat d'une compétitivité supérieure des semis des essences exotiques, ces derniers remplaçant alors les semis préétablis de l'essence indigène. Des expériences axées plus précisément sur cette compétition inter-semis dans des conditions plus contrôlées sont pour cette raison recommandées afin de mettre en évidence ces mécanismes.

Les valeurs du taux d'ouverture du couvert dans les peuplements de *tapia* nous confirment que ces peuplements sont relativement ouverts. Le fait que ces valeurs varient assez fortement d'un site à un autre, mais également au sein d'un même site, confirme qu'il s'agit d'une formation végétale de type « claire » où les arbres se retrouvent régulièrement en petits bosquets (Vignal, 1963 ; Rakoto-Ramiantsoa, 1995 ; Rakotondrasoa et al., 2012, chapitre 8). Ce constat rejoint de précédentes observations concernant les formations de *tapia* en la décrivant comme « fragmentée » (Rajoelison et al., 2009 ; Rakotondrasoa, 2012). Aucune relation statistiquement significative entre le taux de couverture et la densité de régénération des trois espèces étudiées n'a été observée. L'hypothèse 3 est par conséquent rejetée. Cette situation aurait pu être causée, pour *P. kesiya*, par les soins sylvicoles que l'on y pratique, notamment le nettoyage qui consiste à éliminer les arbres concurrents y compris la régénération. Pour le cas du *tapia*, la régénération est piétinée par les populations lors des collectes des produits forestiers non-ligneux tels que les fruits et les cocons de *Borocera cajani* (Rakotondrasoa et al., 2012, chapitre 8 ; Razafimanantsoa et al., 2013, chapitre 2). En outre, les coupes précoces des eucalyptus conduisent au faible développement de leur régénération. Par ailleurs, il existe d'autres facteurs qui influent le développement de la régénération naturelle des essences, comme les facteurs abiotiques (type de sol, pente).

### 13.5. CONCLUSIONS

Face à l'importance du bois de *tapia* dans l'économie des ménages de la population d'Arivonimamo, cette étude s'était fixé comme objectif d'analyser la régénération de cet écosystème afin d'avoir un aperçu sur sa pérennité. Trois principales espèces arborées ont été

rencontrées dans l'écosystème en question, à savoir : *U. bojeri*, *E. robusta* et *P. kesiya*. L'étude a consisté à analyser les interrelations de ces trois espèces dans leur développement, notamment leur régénération. De l'analyse est ressortie une variation de la densité de la régénération de *tapia* entre les sites considérés. Il apparaît également que les capacités d'envahissement du bois de *tapia* par *P. kesiya* sont bien plus importantes que celles d'*E. robusta*. Par ailleurs, la régénération de pins au sein de ses propres plantations est plutôt faible, probablement par suite des soins sylvicoles qui y sont pratiqués. En outre, il est ressorti également que le taux d'ouverture du couvert ne présente pas d'influence significative sur la régénération des trois essences. Cette situation est censée résulter en partie des différentes activités anthropiques telles que les collectes des produits forestiers non-ligneux pour le peuplement de *tapia*, le nettoyage pour les formations de pin et la coupe précoce pour les boisements d'eucalyptus.

### Remerciements

Cet article est tiré du mémoire de Julien Stein (2011). Nous remercions également toute l'équipe GeVaBo (Gestion et Valorisation durable du ver à soie endémique *Borocera cajani* en milieu forestier dans la région d'Antananarivo) dans lequel s'est insérée l'étude.

## 13.6. BIBLIOGRAPHIE

- Barale C., 2010. *Madagascar : protection et reboisement de tapia dans la région d'Itasy. Planète Urgence (France)*. www.planete-urgence.org (03.08.2011).
- Bertrand A., 1999. La dynamique séculaire des plantations d'Eucalyptus sur les Hautes Terres malgaches. *Flamboyant*, **49**, 45-48.
- Carrière S.M. & Randriambanona H., 2007. Biodiversité introduite et autochtone : antagonisme ou complémentarité ? Le cas de l'eucalyptus à Madagascar. *Bois For. Trop.*, **292**(2), 5-21.
- Chaix G. & Ramamonjisoa L., 2001. Production de semences pour les reboisements malgaches. *Bois For. Trop.*, **269**, 49-63.
- Chaix G. & Razafimaharo V., 1998. *E. robusta* Smith. *Flamboyant*, **48**, 5-9.
- Emerton L. & Howard G., 2008. *A Toolkit for the Economic Analysis of Invasive Species*. Nairobi: Global Invasive Species Programme.
- Gade D.W., 1985. Savanna Woodland, fire, protein and silk in highland Madagascar. *J. Ethnobiol.*, **5**, 109-122.
- Klein J., 2002. Deforestation in the Madagascar Highlands – Established 'truth' and scientific uncertainty. *GeoJournal*, **56**, 191-199.
- Kull A.C., Ratsirarson J. & Randriamboavonjy G., 2005. Les forêts de *tapia* des Hautes Terres malgaches. *Terre Malgache*, **24**, 22-58
- Poore M.E.D. & Fries C., 1986. *Les effets écologiques des eucalyptus*. Étude FAO 59. Rome : FAO.
- Rajoelison L.G. et al., 2009. *Inventaire de biomasse dans les forêts de tapia. Régions d'Itasy (Miarinarivo) et Amoron'i Mania (Ambatofinandrahana) Madagascar*. Rapport final. Antananarivo : Projet FORECA/REDD.
- Rakotondrasoa O.L., 2012. *Écologie spatiale et dynamique de la forêt de tapia, U. bojeri Baill. (1958), habitat du ver à soie Borocera cajani (Vinson, 1863), dans la zone d'Arivonimamo II-Madagascar*. Thèse de doctorat. Université d'Antananarivo, ESSA, Département des Eaux et Forêts (Madagascar).

- Rakotondrasoa O.L. et al., 2012. La forêt de *tapia*, écosystème endémique de Madagascar : écologie, fonctions, causes de dégradation et de transformation (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **16**(4). p. 541-552.
- Rakotondrasoa O.L. et al., 2013. Identification des indicateurs de dégradation de la forêt de *tapia* (*U. bojeri*) par une analyse sylvicole. *Tropicultura*, **31**(1), 10-19.
- Rakotoniaina N.S., 2010. *Vers une démarche de gestion durable des ressources de la forêt sclérophylle de moyenne altitude d'Arivonimamo II-Madagascar*. Thèse de doctorat. Université d'Antananarivo, ESSA (Madagascar).
- Rakoto-Ramiarantsoa H., 1995. *Chair de la terre, œil de l'eau : paysanneries et recompositions de campagnes en Imerina (Madagascar)*. Paris : ORSTOM.
- Randrianarisoa A., Raharinaivosoa E. & Kollf H.H., 2008. *Des effets de la gestion forestière par les communautés locales de base à Madagascar : cas d'Arivonimamo et de Merikanjaka dans les hautes terres malgaches*. Workshop on Forest Governance & Decentralization in Africa. Durban, South Africa.
- Rasolomanana B.P.E., 1995. *Effets de la deuxième éclaircie sur P. kesiyadans le périmètre de reboisement de la Fanalamanga*. Mémoire de fin d'étude. Université d'Antananarivo, ESSA (Madagascar).
- Razafimanantsoa T.M. et al., 2013. Silkworm moths inventory in their natural *tapia* forest habitat (Madagascar): diversity, population dynamics and host plants. *Afr. Entomol.*, **21**(1), 137-150.
- Stein J., 2011. *La régénération de Pinus kesiya et d'Eucalyptus robusta met-elle en danger le renouvellement de la forêt de tapia (Uapaca bojeri) à Madagascar ? Cas de la commune d'Arivonimamo II*. Mémoire de Master de bioingénieur en gestion des forêts et des espaces naturels. Université catholique de Louvain, Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale (Belgique).
- Trouve C., Mariotti A., Schwartz D. & Guillet B., 1996. Soil organic carbon dynamics under eucalyptus and pinus planted on savannas in the Congo. *Soil Biol. Biochem.*, **26**(2), 287-295.
- Vignal Z., 1963. Les phénomènes de météorologie dynamique et la disparition des formations forestières malgaches d'altitude. *Bois For. Trop.*, **89**, 31-35.