

Chapitre 2

Origines climatique et humaine des couloirs forestiers

Serpantié G., Rakotonirina A., Carrière S., Rakotondramanana M. & Ramarorazana B.

Résumé : Dans l'Est de Madagascar, les couloirs forestiers relictuels montrent des liens étroits avec le relief. Dans le cas du " corridor de Fianarantsoa ", ces hétérogénéités du milieu physique influent-elles comme facteurs écologiques ou comme contraintes aux activités humaines défavorables au maintien du couvert forestier ? La démarche adoptée a procédé par spatialisation des facteurs physiques secondaires, climat et sols à deux échelles (régionale et locale) à partir de mesures climatologiques et de reconnaissances pédologiques. Ces données ont été mises en relation avec les couverts végétaux et leurs caractéristiques de résilience, ainsi qu'avec les pratiques agricoles, forestières et pastorales et leurs justifications. A l'échelle régionale, le grand escarpement qui limite le corridor à l'Est organise de nombreuses dimensions secondaires du milieu physique, qui interagissent avec les pratiques de production. Bien que les deux côtés du corridor soient habités par des sociétés sensiblement différentes techniquement (les Betsileo maîtrisant mieux le labour, l'irrigation, et le terrassement que les Tanala, qui maîtrisent mieux les systèmes de défriche-brûlis sur forte pente), c'est principalement les climats locaux qui, par leur caractère plus ou moins contraignant vis à vis des différents modes de culture du riz (contraintes érosion, luminosité, température, disponibilité en bas-fonds) et vis-à-vis de l'élevage du bœuf (régime de feu), qui structurent les grands traits du paysage végétal régional et des aménagements des pentes. Au niveau des processus de déforestation, ce sont les feux (pastoraux, politiques) qui dégradent le couvert forestier à l'Ouest, désormais relayés par la mise en culture près des bas-fonds, tandis qu'à l'Est le tavy concerne surtout les milieux de basse altitude.

Mots-clé : Climat, structures géographiques, pratiques, tavy, forêts, déforestation, feu

La cartographie des paysages végétaux de la région du couloir forestier Ranomafana-Andringitra et sa mise en relation avec les données physiques primaires a montré une forte structuration des couverts forestiers par le modelé, à toutes les échelles d'observation (chap. 1). Un tel fait paraît non seulement général, et concerner une grande partie de l'Est malgache, mais aussi particulier à l'Est, car les forêts actuelles de l'Ouest ne paraissent pas obéir, ou seulement partiellement, à cette règle de répartition. Ces processus conservatifs relatifs se maintiennent partiellement aujourd'hui. Le programme PAGE, cité par Dufils (2003), évalue à partir d'images satellite le taux de déforestation annuel à 0,4-0,6% sur deux couloirs, contre 1,8-2,2% sur des zones perpendiculaires à ces couloirs incluant les milieux de basse altitude (RN2, ligne FCE). Quelle est l'origine de cette structuration et de cette " résistance ", dans un contexte généralisé de déforestation (Humbert, 1927 ; Green & Sussman, 1990) ? A travers quelles actions des sociétés rurales, quels facteurs biotiques, et quelles réponses écologiques des milieux, les formes du modelé physique ont-elles ralenti localement des processus de disparition du couvert végétal et favorisé l'individualisation de couloirs forestiers relictuels ?

En hypothèse, cette relation qui se manifeste seulement à l'Est de Madagascar renverrait à une interaction entre modes de mise en valeur, modelé et particularités du milieu oriental au vent. Ces trois variables connaissent en effet une différenciation est-ouest et parallèle aux côtes dans la moitié est de Madagascar. Plusieurs sous-hypothèses doivent donc être examinées et validées successivement :

- le modelé détermine des variables physiques secondaires (terrains, climat) ;
- ces dernières, éventuellement renforcées par des conséquences d'activités humaines, agissent en premier comme facteurs écologiques conditionnant les types d'écosystèmes et leurs propriétés de résilience ;

- dans le cadre d'une civilisation " du riz et du bœuf " et des techniques dont elle dispose, ces paramètres secondaires représentent aussi des contraintes ou des opportunités pour les paysans. Ces derniers agissent alors spécifiquement par rapport à la topographie ;
- ces pratiques confrontées aux propriétés des écosystèmes, conduisent à créer ou renforcer les contrastes de paysage.

Démarche et méthodes

Dans cette étude, appliquée au couloir Ranomafana-Andringitra, il a été d'abord examiné si le modelé régional ou local détermine les sols, ainsi que les conditions climatiques moyennes et fréquentielles. En second lieu, comment ces variables physiques secondaires agissent sur la différenciation des types d'écosystèmes, et notamment sur leur capacité de reprise après perturbation. Ensuite, comment elles sont prises en compte dans des stratégies des populations paysannes (processus de peuplement, pratiques agro-pastorales, feux, pression sur les forêts). Enfin, quelle est leur influence finale sur le couvert forestier.

La région ne dispose pas de cartes de sols d'échelle inférieure à 1/1000000. Seules des prospections ponctuelles ont été effectuées dans la région par Riquier (1951), Segalen (1951), Bouchard (1966), Bouchard & Le Buanec, (1967). Des reconnaissances pédologiques ont donc été menées sur un transect ouest-est, depuis la commune Androy (savanes betsileo) jusqu'au bas-pays tanala (Manampatrana). Ces reconnaissances se sont attachées à décrire plusieurs toposéquences par unité géomorphologique (cf. chap. 1), mais aussi à enquêter sur la physicochimie des sols, leur végétation (hauteur, densité, strates, espèces majoritaires), les formes d'érosion (aléas, facteurs aggravants) et les perceptions paysannes (fertilité, risques). Ces données s'ajoutent aux descriptions de sols de Couadou le Brozec (2004), Randriamalala (2005), Rakotonirina (2006), Ratsimisetra (2007), Razafindramanana (2007) dans la base de données GEREM. Au total 86 sols de pente ont été décrits selon la classification des sols ferrallitiques des Hautes-Terres (H.T.) de Bourgeat & Aubert (1971).

A la prise en compte des résultats climatologiques antérieurs a été associée la recherche de données d'archive sur les postes pluviométriques locaux (Figure carnet central 7). Sept pluviomètres totalisateurs ont été installés dans les zones mal couvertes, pour y comparer les pluviosités 2004-2006 à celles des postes synoptiques (Mananjary, Fianarantsoa) dont le climat est connu (Figure carnet central 7 et Figure carnet central 8). Une station automatique complète a été mise en place en 2003 à Sahambavy, à proximité de la limite ouest du couloir. Des observations de niveau de plafond nuageux ont été réalisées en 2006 et 2007 trois fois par jour sur des sites de lisière (est et ouest), et comparées aux niveaux observés à l'aéroport de Fianarantsoa. Des relations générales entre pluviosité, ennuagement, et rayonnement global ont été recherchées. Le climat des stations synoptiques ayant été reconnu stationnaire, et le climat 2003-2005 en étant représentatif, d'autres archives locales renseignant l'humidité et la température (1950-1980) ont permis de mieux documenter le climat de la base de la falaise (Ifanadiana) et de la partie ouest du couloir (Ampamaherana). Finalement un bilan climatique P-ETP Penman a pu être réalisé sur de multiples stations formant transect, pour la période 2003-2005.

Les cartes représentant les types de couverts végétaux sont les mêmes que celle utilisées dans le précédent chapitre. La résilience des écosystèmes a été prise en compte à partir de la littérature existante (dont le chap. 9).

Une carte de localisation de hameaux en 1903 (Delpy, 1903), les enquêtes au niveau village sur les pratiques agro-sylvo-pastorales actuelles et passées, sur les sites d'étude (5 en pays tanala, 5 en pays betsileo, 3 dans le couloir), le relevé de traces d'occupation dans les zones inhabitées (cf. chap. 3), ont permis d'identifier les principaux facteurs anthropiques auxquels les milieux du couloir et de sa périphérie ont été confrontés.

Résultats et discussions

Sols

Sur l'ensemble des prospections systématiques réalisées (Tableau I) les différences entre traits morphologiques de sols de pente¹³, en dehors de l'épaisseur de l'horizon A qui reflète la végétation actuelle, ne sont jamais très contrastées. Aucun lien systématique ne s'observe entre unités morphologiques et types de sols, excepté pour des sols assez marginaux (fer. remaniés et fer. rouges à l'Ouest). Sur le plan physiochimique, le contraste le plus net entre les sols de l'Est chaud et humide et ceux des Hautes-Terres porte sur la physique du sol, et particulièrement sa consistance. Au pénétromètre, les sols *tanala* sont significativement moins cohérents que les sols *betsileo*, sans que cette dureté soit un obstacle à la venue de la forêt.

Tableau I. Types de sols de pentes identifiés sur les différentes unités morphologiques, d'Ouest en Est (%)

Situation	Rural betsileo	Frange ouest	Bande ouest	Bande ouest	Bande est	Falaise	Rural tanala		
Unités morphologiques	Relief dérivé surface III	Raccord	Relief dérivé surface II peu marqué	Relief dérivé surface II marqué	Haut falaise	Pente falaise	Collines tanala	Total	
Types sols ferrallitiques									
peu rajeuni jaune	21	22	0	60	33	29	0	19	
peu rajeuni jaune/rouge	24	11	11	0	33	14	7	15	
peu rajeuni rouge	7	11	0	0	0	0	0	5	
rajeuni	17	0	22	0	0	0	40	15	
rajeuni+ recouvert colluvial peu évolué	0	28	22	20	33	29	13	15	
pénévolué	21	17	44	0	0	29	33	23	
induré	3	6	0	20	0	0	7	5	
remanié	7	6	0	0	0	0	0	3	
Total %	100	100	100	100	100	100	100	100	
Nombre	29	18	9	5	3	7	15	86	

Sur le plan de la végétation, seuls ne portent jamais de forêts les sols hydromorphes organiques à gley profond des grands marécages, ainsi que les rankers sur affleurements rocheux. Tous les autres sols (de pente et de bas-fonds) sont compatibles avec la forêt.

A l'échelle de la toposéquence, des liens s'observent entre sol et végétation, dans la bande ouest du couloir. Les sols sommitaux (sols indurés peu profonds, et sols peu rajeunis à horizon B argileux et massif, à mauvaise infiltration) portent des végétations arborées significativement plus basses et moins denses que les sols de mi-pente et bas de pente (Tableau II). Compte tenu des obstacles structuraux, les profondeurs d'enracinement sont significativement moindres (Tableau III). Les conséquences sont une moins bonne alimentation hydrique et minérale et une plus grande susceptibilité au feu sous le climat de la bande ouest (voir plus loin).

Sur le plan de la mise en valeur agricole, les variations de types de sols sur la toposéquence orientent seulement les priorités. Sur les H.T., les paysans *betsileo* préfèrent les petits bas-fonds à sols hydromorphes minéraux plutôt que les grands marécages tourbeux exigeant de grands moyens collectifs pour le drainage. Ils préfèrent pour les cultures pluviales les bas de pentes et les pentes plutôt que les plateaux de collines (horizon B trop massif). Les *Tanala* préfèrent aussi les pentes en matière de riz pluvial et de manioc, car les sols des sommets de colline, à horizon B d'accumulation marqué, ruissellent et durcissent plus vite.

¹³ couleur, présence d'un horizon d'apport, structure et épaisseur de l'horizon B, présence d'indurations, profondeur d'apparition de l'horizon C, niveau de blocage des racines

Tableau II. Tableau de contingence croisant hauteur des arbres dans la végétation naturelle et situation topo. dans la bande ouest du couloir (végétations non cultivées) (χ^2 significatif à $p=0,05$)

hauteur arbres (m)	bas et mi-pente	haut et crêtes
5-7	0	67
8-10	50	33
11-13	50	0
Total % du nbre de sites	100 (10)	100 (6)

Tableau III. Tableau de contingence croisant hauteur des arbres dans la végétation naturelle et profondeur de blocage des racines (χ^2 significatif à $p=0,05$)

hauteur arbres (m)	profondeur de blocage des racines (cm)		
	20-35cm	40-55	>60cm
5-7	100	0	22
8-10	0	80	33
11-13	0	20	44
Total % du nbre de sites	100 (2)	100 (5)	100 (9)

Puisque les sols ne sont discriminants pour la végétation naturelle ou cultivée qu'à l'échelle du versant et qu'entre types de bas-fonds, la question de la répartition du paysage végétal issue de l'interaction homme-nature à une échelle régionale et locale reviendrait essentiellement à celle des interactions entre les variations climatiques intra-régionales, les modes de mise en valeur, et l'écosystème forestier.

Climat

Limites des connaissances actuelles

Selon la littérature consultée (Donque, 1975 ; Chaperon *et al.*, 1993 ; Jury, 2003), Madagascar doit ses climats à sa position intertropicale (12° à 26° de lat. sud) et insulaire, à sa façade est de direction subméridienne face à l'Océan Indien, et aux particularités de son modelé. Le régime d'hiver austral (mai à septembre) et le régime d'été (novembre à mars) gouvernent les composantes du climat :

- une alternance saisonnière de températures modérée, la température moyenne est en grande partie liée à l'altitude, à la latitude (de plus en plus contrastée vers le Sud), mais aussi à son humidité (climats secs plus chauds à altitude égale) ;
 - un régime de vents et d'humidité saisonnier, dominé par deux flux : mousson du NW (en été) et alizé du Sud Est (toute l'année), leur rencontre en été représentant la convergence intertropicale (CIT) au voisinage de laquelle le temps est instable et pluvieux. L'alizé, perpendiculaire à la côte est, est responsable de précipitations orographiques toute l'année sur le versant est, et d'un assèchement et réchauffement progressif au delà de la ligne faîtière, et d'autant plus intense que l'altitude s'abaisse rapidement (donc plus intense au Sud) ;
 - des dépressions et cyclones aux trajectoires variées aggravent en été le mauvais temps.
- Il s'ensuit dans la moitié est de Madagascar des climats régionaux parallèles à la côte est.
- **sous le vent de la ligne faîtière** : H.T. occidentales, HT centrales, frange orientale des HT
 - **au vent de la ligne faîtière** : versant oriental, plaine côtière

La ligne faîtière, la longitude et l'altitude jouent donc des rôles à l'échelle du pays. Qu'en est-il dans la région d'étude ? Afin de mieux apprécier le lien potentiel entre climat et végétation, et l'échelle régionale, partons de l'étude de Cornet (1973, 1974), réalisée à partir d'indices bio-climatiques. Pour aborder les liens entre le paysage végétal actuel et les divisions bio-climatiques, la carte forestière IEFN (DEF, 1994) et la carte bioclimatique ont été comparées (Figure carnet central 8).

Le Nord de Tolongoïna y serait plus humide que le Sud, quelle que soit la position par rapport au couloir. Comme les températures sont égales (iso-altitudes), on aurait donc des différences tangibles de pluviosité ou de sa répartition saisonnière entre Nord et Sud. Eu égard aux mécanismes du climat et à la petite taille de la zone, une telle variation semble improbable. Notre propre analyse des données d'archives a produit une carte régionale d'isohyètes différente (Figure carnet central 7). D'Ouest en Est, la pluviosité croît très fortement à l'approche du couloir forestier, puis décroît au delà de la falaise jusqu'à un minimum à 30 km des côtes, avant de croître à nouveau. L'isohyète 1100 mm des H.T. est très irrégulier, les plus fortes pluviométries correspondant aux principaux reliefs (corrélation pluie-altitude significative). Les autres isohyètes peuvent être tracées à peu près parallèlement à la côte et au couloir forestier. Pour vérifier que l'humidité varie seulement parallèlement à l'escarpement, la pluviométrie 2004 et 2005, réparties en trois saisons, sur 8 stations proches ou internes au couloir a été analysée par analyse de variance. Le test de Newman-Keuls à $p=0,05$ indique un effet latitude non significatif, et un effet position latérale hautement significatif. Ceci remet en question la précision de la carte bioclimatique. Le couloir jouit en réalité d'un bioclimat homogène longitudinalement, et très hétérogène latéralement, en relation avec la topographie régionale perpendiculaire aux flux de masses d'air. Plus que la ligne faitière (au niveau de cette ligne, la pluviosité n'est déjà plus que 1800 mm contre plus de 3000 sur la falaise), c'est la distance au moteur des ascendances orographiques, l'escarpement, et l'altitude (commandée par les unités géomorphologiques) qui déterminent la pluviosité locale.

Afin d'analyser les liens entre climats, pratiques et paysages, une étude sur un transect Est-Ouest sera donc suffisante. Pour une analyse agro-climatique visant à connaître les contraintes et opportunités vis-à-vis des techniques de l'agriculture et de l'élevage, nous ajouterons aux indices bio-climatiques de Cornet (1974) le bilan d'eau, l'éclairement, le vent, et la composante climatique du feu.

Température

Les températures varient en zone est essentiellement avec l'altitude (Figure carnet central 9) ce qui attribue à l'escarpement un rôle essentiel dans la répartition régionale des climats : en quelques kilomètres, on passe d'un climat chaud de basse altitude à un climat frais de moyenne altitude (Figure carnet central 11). Mais le couloir, ainsi que le rivage, présentent une perturbation de ce modèle altitude : les climats très humides, couverts, ventés, créent une ambiance plus fraîche aux maxima d'été, particulièrement sous couvert forestier. La température est moins froide aux minima d'hiver (meilleure conservation de la chaleur par les nuages, production de chaleur par la condensation).

Dans la partie ouest du couloir en revanche, bien que le climat y soit plus humide que la lisière, ce phénomène de réduction des contrastes saisonniers est atténué, du fait d'un moindre couvert nuageux. La bande ouest du couloir, subit ainsi un climat particulièrement " froid " en hiver, à proximité des reliefs qui fournissent un air froid aux vallées perchées où le gel se produit, alors qu'il est n'est pas connu hors couloir, à plus basse altitude.

Analyse fréquentielle du bilan d'eau.

Le climat des H.T. centrales, observé à Fianarantsoa, comporte deux saisons peu variables, une saison sèche de 7 mois en moyenne, dont 6 sont " assurés " d'être déficitaires, et une saison humide de 5 mois, dont 3 sont " assurés " d'être excédentaires (Figure carnet central 10). La saison froide à faible ETP est centrée sur la saison non pluvieuse. Le début de cette saison est marqué par les bruines et brouillards. Le déficit cumulé de 200 mm environ est faible pour un climat tropical, mais, nous le verrons, suffisant pour des feux pastoraux de fin de saison sèche. Les cyclones qui se produisent un an sur trois produisent vents violents et pluies abondantes, accroissant considérablement l'excédent, mais beaucoup plus sur la côte que sur les H.T. (Figure carnet central 12).

La Figure carnet central 11 présente une synthèse agro-climatique du transect. Le nombre de mois secs de 9 mois à l'Ouest de Fianarantsoa baisse jusqu'à quatre en lisière, et s'annule dans la bande est du couloir. En bas de falaise, existe un seul mois sec, deux mois à Kianjavato, 3 mois à Mananjary. Le déficit hydrique cumulé suit à peu près la même distribution régionale, mais la pente d'évolution est régulière et forte en pays betsileo, jusqu'à s'annuler dans le couloir est. Le déficit hydrique cumulé en pays tanala est négligeable, et s'accroît à l'approche de la côte (Mananjary d=200 mm).

Aléa climatique " feu "

Il n'est pas facile d'isoler la composante climatique du risque de feu, tant ce risque dépend aussi des pratiques de mise à feu, des formations végétales et de leur capacité propre de transmission du feu. La durée de la saison sèche est parfois utilisée avec la pluviosité annuelle pour déterminer les limites de l'aire biogéographique des savanes (Heinrich & Hergt, 1990, pour l'Inde). Mais un tel diagramme n'est pas utilisable à Madagascar, où les saisons sèches d'hiver et d'altitude s'accompagnent de plus faibles déficits qu'en zone chaude. Nous avons déterminé indirectement les aires où une saison des feux est possible, en étudiant empiriquement le début de la saison des feux dans les régions herbacées soumises aux feux pastoraux d'entretien et de renouvellement, dont les premiers sont allumés dès que l'état de dessiccation des herbacées pérennes le permet (Kull, 2004). Les zones de feux pastoraux observés par le satellite AVHRR¹⁴ progressent d'Ouest en Est sur une période de 6 mois : côte ouest (Morondava) en juin, moyen-Ouest (Miandrivazo) en août, Fianarantsoa en octobre, lisière ouest du couloir début novembre, pour finir sur la côte est (Mananjary) fin novembre. En même temps que progressent les zones de feux, se déplace vers l'Est un seuil de déficit hydrique P-ETP Penman cumulé de 200 à 300 mm. Ce seuil représenterait un montant équivalent à la réserve hydrique racinaire à épuiser (100-200 mm), ajouté du déficit assurant la dessiccation de la végétation à brûler. Ce seuil représenterait donc le début de la saison climatique du feu.

En bordure ouest du couloir, il existe des années sans feu. Ainsi 2004, année sans feu en lisière ouest, la pluie a commencé après 4 mois de saison sèche, alors que le déficit cumulé n'était que de 96 mm. En 2005, année à feux dans le domaine de la lisière (pins), la pluie est arrivée après une même durée de saison sèche mais après un cumul de déficits de 202 mm. Des vents violents ont accompagné le retard de saison des pluies, produisant un facteur aggravant le risque potentiel.

La zone du couloir forestier et le pays tanala n'atteignent pas le seuil de déficit moyen de 200 mm et n'ont pas ordinairement de " saison des feux " (mais le brûlis y reste possible sur biomasse coupée). Il existe cependant aussi des variations inter-annuelles. Certaines années très sèches sont propices au feu dans le couloir mais on ne dispose pas de séries de données climatiques locales assez longues permettant d'en établir la fréquence.

A l'approche de Mananjary, apparaissent des conditions climatiques propices au feu et, dans le même temps, des savanes côtières.

Excédent hydrique

L'excédent hydrique cumulé présente la variation la plus contrastée puisque de 200 mm dans le pays betsileo jusqu'à la lisière, il augmente jusqu'à 2000 mm en sommet d'escarpement, pour redescendre à 1000 mm à l'Est du pays tanala. La ligne de partage des eaux étant située essentiellement le long de la lisière ouest, cet excédent ne profite pas aux rivières betsileo, si ce n'est dans les alvéoles de surface III qui avancent vers l'escarpement. Un tel excédent montre le statut très différent de l'Est et de l'Ouest du couloir vis à vis de l'érosion, notamment les glissements de terrain qui naissent d'un excès d'infiltration (Rakotonirina, 2006). Cet excédent localisé pourrait avoir joué son rôle dans la genèse du modelé de l'escarpement.

¹⁴ site Web de la NASA

Couverture nuageuse et éclaircissement

Le gradient aigü de précipitations à l'Ouest de l'escarpement va de pair avec celui de l'ennuagement. A toute saison, les alizés humides, en ascendance sur l'escarpement, y favorisent un ennuagement important. En fin de saison pluvieuse et en saison froide, des stratus bas produisent des pluies fines, des bruines, et du brouillard en matinée et soirée. Quand le plafond est à 200 m de hauteur en pays Betsileo et en pays Tanala, toute la partie est du couloir est dans les nuages (Figure 3).

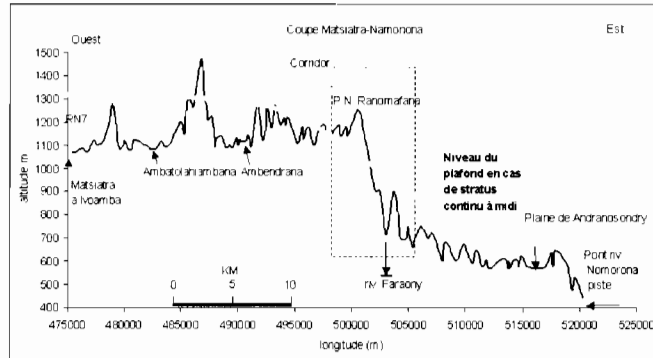


Figure 3. Profil du plafond nuageux en période de stratus diurne comparé au profil topo

Tableau IV. Fréquence (%) des épisodes de brouillards en hiver en fonction de l'altitude (mai-septembre 2006)

Altitude	Lisière ouest du couloir	07h	midi	18h	Falaise	07h	midi	18h
1300	Fourrés de crête	83	3	23				
1200	Forêts de pente	77	0	14				
1100	Rizières, savanes, reliques forêts	73	0	4	Forêts couloir moy altitude	40	32	41
800					Forêts de basse altitude/crêtes	29	19	22
600					Rizières et pentes cultivées	1	1	0

Les observations confirment l'importance de ce phénomène de brouillard persistant d'hiver, notamment en pays tanala et en altitude (Tableau IV) : pendant le quart du temps diurne, la moitié est du couloir et les crêtes de collines sont dans le brouillard. En partie ouest en revanche, le brouillard est rare en journée mais fréquent le matin et en soirée. Non seulement la présence de brouillard et la bruine qui l'accompagne contribuent à accroître l'humidité et le montant des précipitations en forêts de crête en saison sèche¹⁵, mais le brouillard diurne diminue fortement la luminosité. La relation Rg/pluie décadaire à Sahambavy permet d'estimer le rayonnement à Tolongoïna en pied de falaise (400 m). De mai à septembre, le rayonnement y est inférieur à 1250 J.cm²/j. A 800 et 1100 m, les brouillards amènent à le réduire encore de 20% à 30%, la période mal éclairée débutant alors début mars (Figure 4).

¹⁵ Selon Gioda et al., (1992), les forêts nébuleuses insulaires situées en altitude recueillent des précipitations occultes importantes par deux mécanismes : récolte de gouttelettes du brouillard sur des obstacles au vent, notamment les feuillages, condensation au sein de la forêt jouant le rôle de paroi froide.

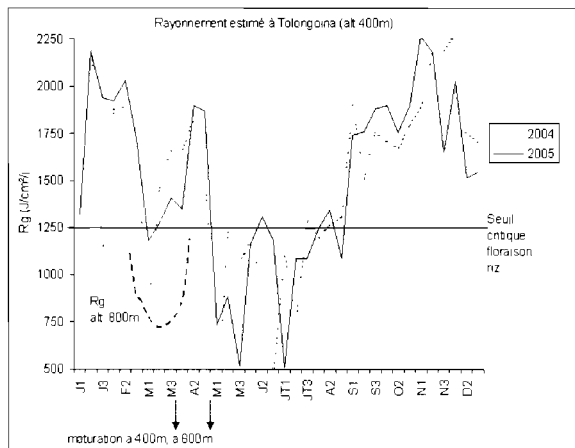


Figure 4. Rayonnement global estimé à la station de Tolongoina (400 m)

Vents et phénomènes microclimatiques

Les dépressions tropicales et cyclones occasionnent chaque année en été des périodes de vents forts dépassant une moyenne de 15 km/h sur 30 mn (mesure à 2 m). Les hauts de pentes exposées à l'Est et les crêtes sont les plus concernés. La luminosité limitante, la température fraîche, ou le vent d'Est dominant produisent des dissymétries micro-climatiques, donnant une grande importance à l'exposition dans toute la zone étudiée.

Influences climatiques sur les types d'écosystèmes et sur leur capacité de résilience

La limite entre le types écologique de la forêts ombrophile sempervirente, et de la forêt de montagne à *Tambourissa* et *Weinmania* (contenant plusieurs espèces décidues) se situe à 800 m, à mi-falaise, en réponse à une variation de température, selon les cartes de végétation (White, 1986). Aucune carte cependant ne propose de variations latérales des types écologiques au dessus de 800 m, malgré le puissant gradient d'éclairement et de bilan d'eau, et des régimes thermiques différents entre la lisière Ouest et Est. Sont surtout différenciés des niveaux de perturbations (forêts secondaires à l'Ouest, peu perturbées à l'Est, chap. 3 et Ratsimisetra *et al.*, 2007, accepté). Pourtant les forêts secondaires de la falaise se différencient à vue d'œil de celles de la bordure ouest du couloir, à altitude égale, par le port des arbres (droit contre évasé), la hauteur de canopée, (20 m contre 12 m), les densités d'arbres, le taux d'arbres décidus... Sur la falaise, où la saison sèche n'existe pas, on pourrait presque parler d'une " forêt des nuages " n'eût été l'altitude trop basse. Sur la lisière ouest, avec 4 mois de saison sèche, un ciel plus lumineux, des hivers plus rigoureux les feuillages sont souvent vernissés. En Inde, ces deux climats différencient nettement deux types de forêt humide, les " sempervirentes " et " semi-sempervirentes " (Heinrich & Hergt, 1990). Il est donc possible d'émettre l'hypothèse que la structure et la composition des forêts, à un stade peu perturbé, étaient différentes sous les deux climats, et qu'il y ait donc deux séries de végétation au sein du couloir et non une seule.

Qu'en est-il, à présent, des réactions de ces diverses forêts aux perturbations ? Dans la partie humide de Madagascar, et de part et d'autre des couloirs forestiers, la régénération forestière après feu, défriche ou glissement de terrain est généralement décrite comme dynamique si ces perturbations sont suffisamment espacées dans le temps (Razafimamonjy, 1987 ; Rasolofoharino *et al.*, 1997 ; Pfund,

2000 ; Styger *et al.*, 2006 ; Randriamalala *et al.*, 2007). Des perturbations récurrentes au contraire favorisent le remplacement des recrûs arborés par des recrûs arbustifs à herbacés. A partir d'un autre seuil de perturbation, apparaissent des couverts seulement herbacés constitués de plantes indicatrices de sols dégradés.

Des différences se produisent cependant en fonction de l'altitude. En basse altitude, les milieux arbustifs à herbacés qui témoignent de perturbations répétées contiennent certaines espèces herbacées ou buissonnantes à caractère invasif et fortement couvrant (*Aframomum* sp., *Lantana* sp., diverses *Melastomataceae*), absentes des milieux de moyenne altitude, où dominent toujours des arbustes ligneux. De même, les milieux dégradés se couvrent d'une Poaceae *Sporobolus subulatus* et d'Ericacées sur les Hautes Terres. Dans le bas pays c'est une Fougère, *Dicranopteris linearis* et une Poaceae *Imperata cylindrica* qui dominent. Ces variations floristiques dans les formations anthropisées et dégradées favorisent la création de contrastes de paysages en fonction de l'altitude, à niveau de perturbation égal, soulignant encore plus l'effet " escarpement ".

Prise en compte du gradient climatique par les pratiques

Un telle variété de conditions climatiques et écologiques fait aussi varier les potentialités et conditions contraignantes pour les systèmes de production ruraux. Chaque petite région du transect Est-Ouest témoigne d'une adaptation homme/milieu dans les pratiques et par conséquent, dans les paysages.

Pays rural betsileo et lisière herbacée

Les climats à l'Ouest du couloir autorisent à la fois une exploitation pastorale basée sur la propagation de feux d'aménagement vers l'Ouest (direction dominante des vents), une irrigation d'intersaison basée sur l'exploitation des excédents hydriques infiltrés dans les altérites et restitués jusqu'en fin d'une saison sèche peu déficitaire, et une culture vivrière pluviale en saison des pluies. La dureté des terres incite au labour mais le climat seulement moyennement érosif autorise le labour sur des champs protégés par des gradins (Serpantié *et al.*, 2006). La population betsileo a ainsi pu maîtriser depuis plusieurs siècles irrigation rizicole, élevage pastoral et cultures pluviales labourées en gradins. On ne connaît pas la date de disparition de la forêt de cette zone, suite aux feux d'aménagement. Les sols des milieux herbacés de bordure du couloir contiennent une matière organique portant partiellement une signature forestière (données non publiées), prouvant une évolution régressive séculaire de la lisière. La forêt coexistait cependant sans doute avec des formations herbeuses en présence de feux naturels récurrents, puisque le climat s'y prête. L'activité rizicole rencontre une contrainte à l'Ouest du couloir : le modelé peu montagneux ne permet pas d'irriguer par gravité des pentes, à grande échelle. L'essentiel est donc une riziculture de bas-fonds, progressivement aménagés à partir de divers noyaux de peuplement, les plus grands ayant été aménagés avec l'aide de l'Etat, depuis le 18^{ème} siècle. En lisière du couloir, l'excédent hydrique dépasse le déficit cumulé, donnant un avantage à cette zone en matière de *vary aloha*, le riz précoce, et de reboisements. Le faible peuplement relativement au centre betsileo et le climat plus humide ont désigné cette zone, ainsi que les hauteurs de plus de 1300 m pour des " reboisements " industriels (Acacia, Pins) et une plantation de thé.

Les prairies et pseudo-steppes du début du 20^{ème} siècle ont ainsi été partiellement converties en cultures pluviales (manioc) et reboisements pour répondre aux besoins d'une population croissante et à des objectifs de développement industriel.

Bande ouest du couloir

Dans la bande ouest, le risque de feu est réduit à certaines années. Les forêts plus ou moins fragmentées et fourrés (arbustes, arbres isolés, fougères) ne brûlant que rarement à l'occasion de feux volontaires ou accidentellement lors de graves sécheresses et vents forts, se maintiennent en

régénération. Le fort gradient d'humidité vers l'Est et le faible déficit hydrique cumulé (environ 100 mm), suffisent à expliquer cette zone de transition entre forêt continue et savane anthropisée. Les reliefs de l'Est betsileo au dessus de 1300 m, plus humides que les plaines (pluies et brouillards), sont dans la même situation. Les plateaux ventés, les crêtes qui les prolongent (sols moins favorables) et versants nord chauds sont plus sensibles au feu, déterminant les principaux espaces de fourrés et d'herbes. Les fonds de vallons et les fortes pentes exposées au Sud et à l'Est, plus humides et abritées du vent, maintiennent seuls des forêts. Vers 1250 m, il fait trop froid pour le *vary aloha* (riz précoce) et le manioc. Au *vary be* (riz de pleine saison), taro et canne à sucre en bas-fonds, s'ajoutent donc maïs et haricot qui requièrent de la fertilité, donc des pratiques de défriche-brûlis. Ces forêts reliques en bordure du pays rural betsileo ont été mises en culture en fin du 20ème siècle mais la savanisation ne s'y produisant qu'après de nombreux cycles de culture, le paysage reste dominé par les jachères arbustives. Un élevage sédentaire existe, mais il est défavorisé par l'humidité, certaines parasitoses (distomatose), et les faibles températures (cf. chap. 11).

Centre du couloir

Au centre du couloir, on trouve des savanes incluses autour de vastes marécages, déjà signalées par Delpy (1903). Comment expliquer leur présence dans un milieu aussi humide où la régénération forestière devrait être active ? En attendant des données archéologiques, et sans exclure des causes naturelles (feux de fermentation liés aux marécages, résidus de paléoclimats plus secs), les pratiques de production permettent d'avancer des hypothèses. Les marécages aux sols " flottants " en font un site privilégié pour le pâturage mais aussi permet la pêche aux écrevisses et anguilles. Pendant la période la plus ensoleillée (novembre), des feux sont allumés afin de réduire la biomasse végétale du marais et faciliter la pêche. Les éleveurs recherchaient des pâturages isolés pour se protéger des voleurs. Ils ont agrandi ces savanes initiales par des feux pastoraux annuels. Jusqu'à 1990 les feux pastoraux étaient des feux d'entretien. Un embuisonnement des savanes fait suite à l'abandon récent de ces feux, ordonné par l'autorité du parc. Les marécages ne sont pas exploités pour le riz, alors que des paysans colonisent de petits bas-fonds à proximité. Ils invoquent des marécages trop profonds, des terres tourbeuses *manara* (" froides " = infertiles, mal drainées), exigeant trop d'investissements.

Bande est du couloir et région de la falaise

La bande de l'Est est totalement forestière, simplement ponctuée de traces d'exploitation des bois d'oeuvre, des bambous et de quelques campements de collecteurs de miel. En abordant l'escarpement vers le bas, la forêt cesse brusquement à la cote 800 m, formant une lisière continue et assez régulière. La population tanala qui habite les villages en pied de falaise vers 500 m d'altitude, sous climat plus chaud que les Hautes Terres, partage son activité agricole entre quatre principales cultures : riz pluvial et manioc sur pente en défriche brûlis, riz de bas-fond, et cultures arbustives (café, bananier, canne à sucre). L'installation d'une exploitation suppose de produire du riz à proximité. Or il n'y a pas de bas-fonds dans la zone de la falaise. Le risque érosif très élevé (glissements sur fortes pentes) limite les possibilités de terrasses et interdit le labour (Serpantié *et al.*, 2006). Qu'en est-il du riz pluvial, dont la culture sur défriche-brûlis récurrente, bien qu'adaptée au climat et aux pentes non aménagées, conduit à la disparition de la forêt ? Au dessus de la cote 800 m, les Tanala évoquent de fréquents accidents de développement : *havana* (blocage de l'épiaison au stade gonflement de l'épi), *mipoka* (avortements d'épillets), et donc un faible rendement, dissuasif. Les paysans mettent en cause les sols et certains aspects du climat du haut de falaise, froid, pluies fines fréquentes et vents. D'un point de vue agronomique, plutôt que d'incriminer les sols forestiers acides, que le brûlis suffit à corriger pour le temps d'une culture, l'existence d'un gradient climatique accusé le long de l'escarpement conduit à rechercher plutôt des causes impliquant le rapport climat-plantes. La baisse de température de 400

à 800 m accroît d'un mois la durée de cycle des variétés traditionnelles tanala (Toamasina et Malady) qui sont des variétés à cycle fixe. Ce retard de développement est de faible conséquence, à moins qu'il n'occasionne une rencontre de phases sensibles (phase reproductrice) avec de mauvaises conditions climatiques, ce qui est le cas de cette période (mars-avril) et en ce lieu précis. Il se produit souvent des vents forts et une faible luminosité¹⁶ qui occasionnent des accidents d'épiaison et des stérilités, des pluies fines continues et précipitations occultes qui perturbent la pollinisation, et une forte humidité favorisant diverses pathologies. Prises isolément, aucune de ces conditions, très variables suivant les années, n'est rédhibitoire : c'est la combinaison de ces risques qui constitue une contrainte, tandis qu'au contraire, le milieu de basse altitude convient à tous points de vue au riz pluvial des Tanala, tant qu'il reste des terrains convenables. Afin de surmonter cette contrainte d'altitude avec les mêmes variétés, les semis devraient être plus précoces (septembre au lieu de novembre), mais la première condition nécessaire au brûlis, la dessiccation des biomasses, ferait alors défaut. L'excès d'humidité, de fertilité et la présence de ravageurs (sangliers) nuisent aussi fortement au manioc.

Ces contraintes techniques aux cultures vivrières malgaches de base et des opportunités de culture maintenues en pays tanala (des forêts sont encore disponibles) expliquent que la forêt tanala de la falaise ait conservé sa limite vers 800 m. La température étant seulement une composante de la contrainte climatique complexe des escarpements, on peut comprendre la persistance de forêts sur des reliefs de plus faible altitude mais marqués par un escarpement, tels que le couloir de Vondrozo (500 m), le sud du couloir de Ranomafana-Andringitra (600 m) ou le massif de Tsangatsanga (500 m). Les seuls sites où la lisière remonte au dessus de 800 m sont les zones bananières bien exposées (Nord), proches des voies de communication, souvent habitées par des migrants non-tanala. Le bananier est une plante pérenne tolérante aux faibles ensoleillements saisonniers et aux excédents d'humidité, qui préfère les sols humides et organiques. Bien que cette culture soit pérenne, et donc moins gourmande en forêt que les cultures vivrières temporaires, elle est responsable de la remontée de la lisière au dessus de 800 m. Cependant elle connaît aussi une limite d'altitude au delà de laquelle elle produit peu (vers 1000 m).

Prise en compte des phénomènes micro-climatiques par les pratiques

Sur les Hautes Terres, les ubacs sont d'expositions sud et est (cultures à jachères longues, reliques forestières), les adrets sont exposés nord et ouest (terrasses, végétations dégradées par le feu). En zone tanala, les ubacs sud, humides et peu ensoleillés, sont défrichés en dernier, et les adrets nord sont recherchés. Une telle dissymétrie s'observe sur l'altitude de la limite forestière sur la falaise, les tronçons bien exposés étant défrichés à plus haute altitude.

Discussion générale et conclusion

A l'échelle régionale, le " grand escarpement " qui limite l'Est du couloir provoque un gradient climatique prononcé. Cette étude a décrit trois sous-climats contrastés à l'intérieur du climat peu homogène de la " frange orientale des H.T. " de Morat (1969) et Donque (1971) : climat de la lisière ouest (Sahambavy), climat de la bande ouest (Ampamaherana), et climat complexe de l'escarpement (stations étagées de haut en bas : Ranomena, Talatakely, Valbio, Tolongoina). Ce dernier est encore seulement partiellement caractérisé. Ces climats locaux doivent être identifiés au regard de leur influence prépondérante en matière de structuration des écosystèmes et des paysages, des potentialités et des contraintes vis à vis des systèmes de production. On retrouve ce type de climat sur les autres

¹⁶ niveau critique de 1250 J/cm .j selon De Datta, 1981 cité par Moreau 1987, et Arraudeau 1998

escarpements de l'Est, aux pluviométries près. L'absence de saison déficitaire en eau, de faibles ensoleillements, et des brouillards, les caractérisent essentiellement.

Souvent l'on présente les différents peuples paysans malgaches " compartimentés " par les reliefs ou les grands massifs forestiers (Le Bourdieu, 1974). Cette réalité géographique doit être expliquée. Les paysans ne craignent ni les reliefs (les Tanala exploitent des pentes de 40° au dessus d'à-pics), ni la forêt, comme leur nom l'indique. C'est le climat spécifique de ces lieux, peu propice aux feux et au tavy, donc à la civilisation " du riz et du boeuf ", et une morphologie sans bas-fonds; qui a contribué ainsi à y conserver partout la forêt, et en a fait des " *no man's land* " avec des rôles politiques (frontière) et écologiques (conservation de la biodiversité malgache) induits. Seuls ont perturbé ou rajeuni ces écosystèmes les catastrophes naturelles (cyclones et glissements de terrains résultants), l'exploitation des bois et du bambou, la chasse, la pêche, les mines, les voies de communication, certains organismes introduits (rats, sangliers, plantes exotiques), ainsi que des feux exceptionnels.

L'extension latérale du climat le plus " protecteur ", au dessus de 800 m, n'est que de 5 km par escarpement. Il est prolongé à l'ouest par le climat de transition de la " bande ouest ", encore propice à une forêt d'un autre type, mais un peu plus propice aux activités rizicoles de bas-fonds et pastorales. Il s'ensuit que des escarpements successifs et serrés produisent des conditions idéales pour maintenir de vastes massifs forestiers (cas de l'Andringitra). Trop écartés, il apparaît dans l'intervalle un climat moins protecteur qui accroît le risque de fragmentation du couloir (cas du pays Zafimaniry) (Figure carnet central 4).

Le rôle des variables physiques apparaît crucial à l'Est de Madagascar. Ces facteurs devraient être pris en compte par les gestionnaires de l'environnement, notamment en matière de localisation des aires protégées (AP). Certes les gestionnaires utilisent des cartes géologiques et des cartes climatiques pour délimiter des aires à protéger et optimiser ainsi la biodiversité préservée par un échantillonnage exhaustif des milieux. Le problème provient de l'usage de cartes du milieu physique à trop petite échelle, alors que les variations intra-régionales sont essentielles à considérer dans le rapport complexe nature physique / nature biologique / hommes. Les AP actuelles, de même que les futures AP qui doivent les relier en tant que " corridors écologiques ", sont généralement situées en sommet d'escarpement, sur des zones relativement peu menacées de déforestation. N'y a-t-il pas dans ce réseau d'aires protégées une certaine sur-représentation des forêts d'escarpement, et une sous-représentation des forêts de la bande ouest et des climats de basse altitude ? Les menaces et pressions sur ces forêts relictuelles d'escarpement restent limitées par l'absence de feu, la contrainte climatique et l'inadaptation actuelle des systèmes de culture à celle-ci. Au contraire, maintenir des forêts naturelles en basse altitude où les conditions favorisent autant l'agriculture représente un véritable défi. En altitude, l'introduction inconsidérée de nouvelles techniques (variétés de riz pluvial d'altitude) au nom du développement des aires périphériques aux AP, pourrait dès lors produire des effets aggravants sur les processus de déforestation. Mais ces nouvelles techniques, si elles conviennent à ces régions encore relativement préservées de l'agriculture pluviale, s'imposeront de toute façon. Aussi faut-il que la gestion de la forêt implique suffisamment les riverains, pour que l'opportunité de nouvelles techniques mieux adaptées à ce climat contraignant mais déforestantes soit équilibrée par l'existence de contraintes d'accès et d'opportunités économiques forestières dans le cadre d'une gestion durable et profitable aux riverains de la forêt du couloir.