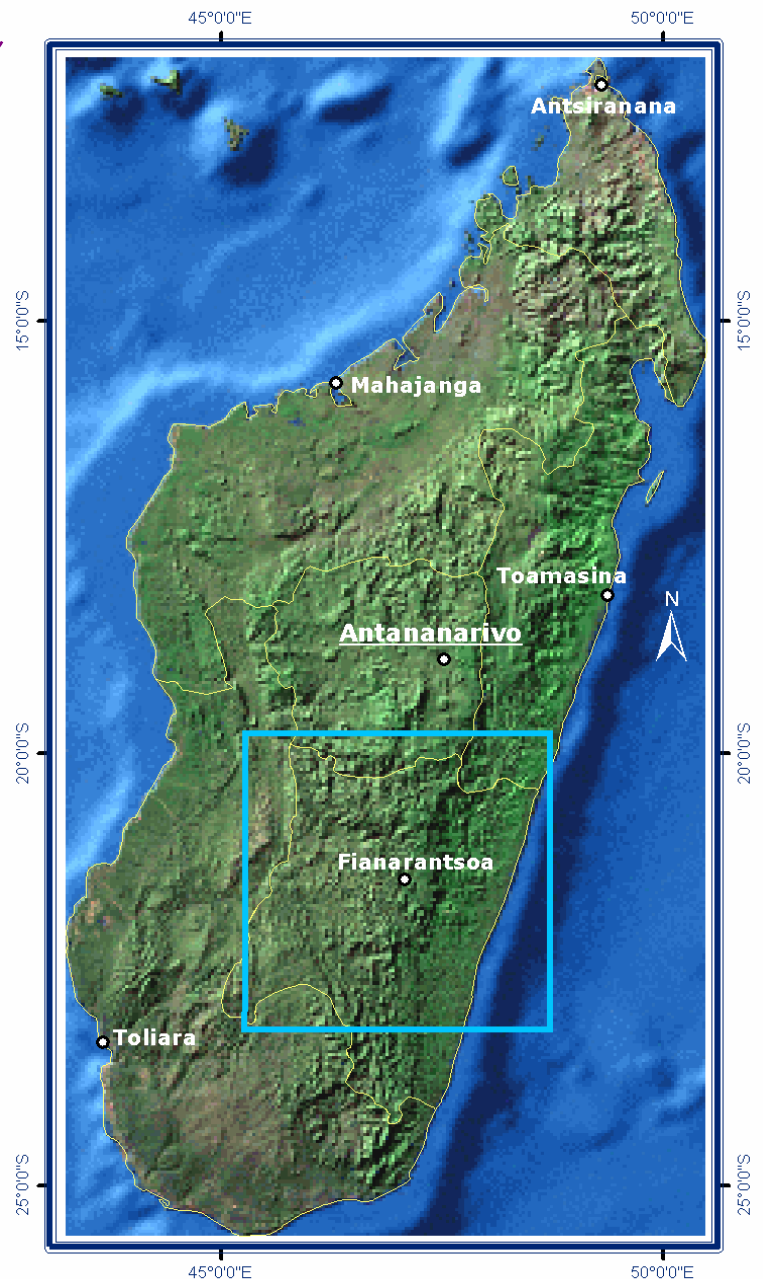


Assistance agroclimatique pour le développement de la viticulture à Madagascar

Présenté par:

Michele Fiori
Antonello Cossu
Paolo Capece
Giuseppe Bianco
Alessandro Delitala
Simona Canu



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

*Projet financé dans le cadre de la loi régionale n. 19 du 11 avril
relative aux «Normes en matière de coopération avec les pays en voie
de développement et de collaboration internationale»*

Nos vifs remerciements

Aux collègues du Service Agrométéorologique Régional pour la Sardaigne qui, à différents titres, ont contribué à la réalisation du projet. Un remerciement particulier à Luca Fadda, pour la mise en page de l'étude en format Html et à Dina Sechi pour la réalisation graphique.

A Ing. Adamo Discepoli pour l'activation des rapports de collaboration avec les entités administratives et avec d'importantes institutions scientifiques de la République de Madagascar.

Au Prof. Mario Fregoni, Titulaire de la Chaire de Viticulture à l'Université Catholique Sacré Cœur de Plaisance et au Prof. Giovanni Nieddu, du Département Economie et Arboriculture de l'Université de Sassari pour leurs précieux conseils.

Au Prof. Vittorio Delucchi du Polytechnique Fédéral de Zurich pour ses précieux conseils.

A Don Rosario Salerno, responsable du Bureau Technique à Antananarivo et à Don Renato Pinna du Centre Salésien de San Giovanni Bosco de Fianarantsoa pour leurs précieux conseils sur l'organisation du voyage de travail ainsi que pour leur médiation auprès des institutions locales et pour la planification des rencontres pendant notre visite.

A Mr Walter H. Pierce, directeur de la WH Pierce Exploration (Texas) pour avoir aimablement mis à notre disposition le modèle digital du terrain (DEM), relatif à la zone étudiée.

A Madame Bigai N'Diaye, gérante de la «Peppo Mada Sarl» pour l'excellente organisation logistique.

A la Geo graphics s.r.l. et à la Futura Informatica s.n.c. de Sassari pour nous avoir permis de consulter et d'utiliser le matériel hardware nécessaire à la réalisation du film documentaire.

Index

1 INTRODUCTION	5
1.1 Préface	5
1.2 But du projet	5
1.3 Phases du projet	5
2 MADAGASCAR: CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES	6
2.1 Introduction	6
2.2 Climat	6
2.3 Géologie et Pédologie	7
2.4 Agriculture	8
2.5 Viticulture	8
2.5.1 La viticulture sous les climats tropicaux	8
2.5.2 La viticulture à Madagascar	9
3 MÉTHODOLOGIE	11
3.1 Gestion et analyse des données territoriales	11
3.1.1 Technologie GIS (Geographical Information Systems)	11
3.1.2 Application du GIS à la région de Fianarantsoa	11
3.1.3 Spatialisation des données	12
3.2 Etude climatologique	15
3.3 Elaborations agro-climatologiques	17
3.3.1 Indices bioclimatiques spécifiques à la vigne	17
3.3.1.1 Indice de Winkler	18
3.3.1.2 Indice de Huglin	18
3.3.1.3 Indice de Fregoni simplifié	18
3.3.1.4 Indice hydro-thérmiq ue de Branas	19
3.3.2 Evapotranspiration de référence	19
3.3.3 Consommations hydriques de la vigne	19
4 ANALYSE DES DONNÉES ET DES TEXTES	21
4.1 Climatologie	21
4.1.1 Le climat des hauts plateaux centraux	21
4.1.2 Le climat de la zone viticole	21
4.1.2.1 Précipitations	30
4.1.2.2 Températures	30
4.1.2.3 Humidité	30
4.2 Elaborations agroclimatologiques	31
4.2.1 Indice de Winkler	31
4.2.2 Indice de Huglin	33
4.2.3 Indice de Fregoni simplifié (amplitudes thermiques)	33
4.2.4 Indice hydro-thermique de Branas	33
4.2.5 Evapotranspiration de référence	34
4.2.6 Consommations hydriques de la vigne	34
4.3 Pédologie	34
5 CONCLUSIONS ET INDICATIONS PROPOSABLES	40
6 BIBLIOGRAPHIE ET ANNEXES	42

1 Introduction

1.1 PREFACE

La productivité et les caractéristiques qualitatives d'un cépage sont le résultat de son interaction avec le milieu, c'est à dire avec les conditions pédoclimatiques et culturelles. Ce sont ces conditions qui peuvent permettre au cépage de manifester pleinement ses potentialités et qui déterminent les solutions les plus appropriées pour un investissement à long terme, telle que l'implantation d'une vigne.

L'interaction terrain-climat constitue ce qui est défini comme «terroir» et entre les deux facteurs, le dernier, c'est à dire le climat, prévaut de par son importance à l'échelle régionale, comme on peut facilement en déduire par la différence notée entre les vins produits dans des zones climatiques différentes.

Les données climatiques doivent être mesurées, comprises et valorisées par rapport au choix de variétés et de gestion du vignoble; le développement météorologique doit être étudié et suivi de manière à intervenir correctement avec les méthodes de culture, les traitements antiparasitaires, le choix de la période de vendange.

Le potentiel qualitatif de l'année doit être compris et valorisé par les techniques de vinification et d'affinage utilisées (Fregoni, 2003).

1.2 BUT DU PROJET

Le but du projet a été celui de fournir une étude agroclimatique relative à la zone vitivinicole la plus importante de Madagascar, localisée, du point de vue géographique dans la Province de Fianarantsoa. Ce terroir présente des marges de valorisation et d'amélioration qui peuvent être renforcées par un choix judicieux de cépages afin de produire des vins de qualité et par la détermination des zones les plus appropriées d'un point de vue climatique et pédologique, ainsi que par le perfectionnement des techniques agronomiques.

L'Etude a été conduite avec comme objectif de fournir un instrument opérationnel important qui puisse servir de support à la planification dans le secteur viti-vinicole à Madagascar. Il devrait permettre aux institutions locales de mieux planifier les interventions en cours et futures, et de répondre aux exigences provenant des entreprises et des coopératives agricoles qui opèrent dans ce secteur.

L'intérêt exprimé par le Ministère de l'Agriculture du Madagascar est à l'origine de cette initiative qui a été présentée, acceptée et financée par la Région Sardaigne dans le cadre de la Loi Régionale N. 19 du 11 Avril 1996 relative aux «Normes en matière de coopération avec les Pays en voie de développement et de collaboration internationale»

1.3 PHASE DU PROJET

Pendant le développement du projet, après une phase préliminaire de documentation et de recherche bibliographique, une mission de travail a été conduite sur les lieux de culture de la vigne dans le but de connaître la réalité agricole locale, d'acquiescer toutes les informations et les données climatologiques, pédologiques, cartographiques, ainsi qu'agronomiques et technologiques, et, dans le même temps, faire connaître l'initiative auprès des institutions locales et sensibiliser les potentiels intéressés.

Pendant la mission nous avons, à plusieurs reprises, rencontré des responsables auprès du Ministère de l'Agriculture, nous avons également noué des contacts auprès de l'Université de Fianarantsoa, de l'Université privée de Antsirabe, du Centre Météorologique et Hydrologique National, du Centre Agrométéorologique National, de l'Institut Cartographique et également auprès de plusieurs missions de différents ordres religieux comme les Diocésains, les Trappistes et en particulier les Salésiens, qui nous ont fourni un support logistique considérable.

Par la suite, après avoir effectué une visite instructive dans les vignobles du Cardinal d'Antananarivo, situés dans les environs de la capitale, nous avons développé la phase agricole proprement dite, dans la zone viticole de Fianarantsoa, localisée dans le centre-sud du pays, avec la visite des caves et des vignobles des principaux producteurs locaux, en particulier Lazan'i Betsileo, Cloz Malaza, Maromby, Soavita.

En outre, nous avons tourné un court film documentaire sur la viticulture à Madagascar (enregistré auprès de la SIAE – Société Italienne des Auteurs et Editeurs) pendant ce séjour. Réalisé sur support digital pour garantir une meilleure qualité des images, il a permis au S.A.R. de diffuser les informations rassemblées pendant la mission auprès des médias.

Ce film s'est révélé être un instrument utile pour bien situer le contexte économique et social des zones visitées.

2 Madagascar: caractéristiques générales

2.1 INTRODUCTION

L'île du Madagascar constitue avec d'autres îles mineures un état de l'Afrique australe d'une superficie de 587000 km². Elle est située entre le 13^{ème} et le 25^{ème} degré de latitude sud et est traversée, dans sa partie méridionale, par le tropique du capricorne. D'un point de vue géographique, une chaîne montagneuse traverse toute l'île tout le long de l'axe nord-sud, avec plusieurs cimes dépassant les 2500 mètres d'altitude. Cet imposant relief a le versant oriental très raide, alors qu'à l'ouest la dénivellation est plus douce, créant ainsi une zone étendue de hauts plateaux (illustration 1).

La zone viticole est localisée sur les hauts plateaux à une altitude comprise entre 1000 et 1700 mètres s.l.m. (au dessus du niveau de la mer) environ.

2.2 LE CLIMAT

Pendant l'été austral, la ZCIT se trouve sur Madagascar et apporte d'abondantes précipitations convectives presque sur toute l'île. Seule l'extrémité sud-occidentale de l'île, qui se trouve en marges de la zone de ITCZ n'en ressent les effets que dans une moindre mesure.

Par contre, pendant l'hiver austral la pluviosité est nettement diverse dans les trois zones climatiques. En effet, sur la partie septentrionale et orientale de l'île, les alizés de l'Océan Indien continuent à apporter de l'humidité dans les strates inférieures, alimentant la convection (ultérieurement stimulée par le soulèvement orographique raide) et rendant cette saison également pluvieuse.

Au contraire, en aval de la chaîne montagneuse, les flux associés aux Alizés ont perdu une grande partie de la vapeur d'eau qu'ils transportent et il en résulte donc un climat sec et modérément frais. Pour la configuration orographique particulière de Madagascar la partie sud-orientale est également masquée par les flux humides associés aux Alizés et est donc peu pluvieuse.



Illustration 1. Carte géographique de Madagascar.

Par conséquent, dans la partie du pays à climat tropical pluvieux, aussi bien les précipitations que les températures varient peu pendant l'année: les précipitations moyennes oscillent entre 80-200 mm/mois, avec des cumuls annuels compris entre 1600 mm et 2400 mm; les moyennes des températures maximales, par contre, oscillent entre 25-28°C (en juillet) et 27-33°C (en janvier); tandis que les moyennes des températures minimales varient entre 18-20°C (en juillet) et 20-23°C (en janvier).

Par contre, dans la partie de Madagascar à climat tropical humide et sec, les différences entre les deux saisons sont bien marquées: tandis qu'en été, aussi bien pour les précipitation que pour les températures, les valeurs sont semblables à celles de l'autre zone climatique, en hiver on remarque une nette diminution, aussi bien des températures que des précipitations. De manière générale, donc, les 800-1500 mm/année de ces zones se concentrent entre octobre et avril.

Le cycle annuel de température et précipitation est particulièrement net dans les zones centrales du pays, caractérisées par un climat plus continental.

A Antananarivo, par exemple, l'hiver est caractérisé par un ciel serein ou peu nuageux, des précipitations autour de 30 mm/mois et une température moyenne d'environ 14°C.

Dans la partie du pays à climat tropical semi-aride, enfin, les précipitations, surtout concentrées pendant l'été, peuvent baisser jusqu'à 300-400 mm/an, tandis que les températures sont semblables à celles de la bande tropicale humide et sèche.

NOTE: La Zone de Convergence Intertropicale (ou ITCZ) sépare la cellule de Hadley située dans l'hémisphère boréal de la cellule de Hadley située dans l'hémisphère austral ; ces cellules délimitent les zones de la planète intéressées par les climats équatoriaux ou subtropicaux.

Les deux flux superficiels des deux cellules de Hadley, c'est à dire, les Alizés convergent dans la ITCZ. Par conséquent la ITCZ est, dans la moyenne, caractérisée par un flux convergent à la surface et par un flux vertical ascendant. La convergence d'air humide sur le sol et le mouvement moyennement ascendant tendent à favoriser la convection, provoquant de fortes précipitations.

La ITCZ se déplace vers le Nord pendant l'été boréale et vers le Sud pendant l'été australe, déplaçant ainsi de façon périodique la bande de fortes précipitations à cheval sur l'équateur.

2.3 GEOLOGIE ET PEDOLOGIE

L'évolution géologique de Madagascar a été marquée par deux phases: une longue période d'érosion et une deuxième période où aux processus érosifs se sont combinés de forts mouvements tectoniques, avec des phénomènes relatifs de métamorphisme. Suite à ce processus évolutif, Madagascar a donc pu être schématiquement divisé en deux zones principales: les zones de formations sédimentaires situées principalement dans les régions côtières, qui s'étendent environ sur un tiers de l'île, et la zone de complexe «précambrien» constitué de roches ignées et métamorphiques, qui couvre deux tiers environ de Madagascar et en particulier les hauts plateaux centraux (illustration 2).

A l'intérieur de cet ensemble nous trouvons des roches métamorphiques comme

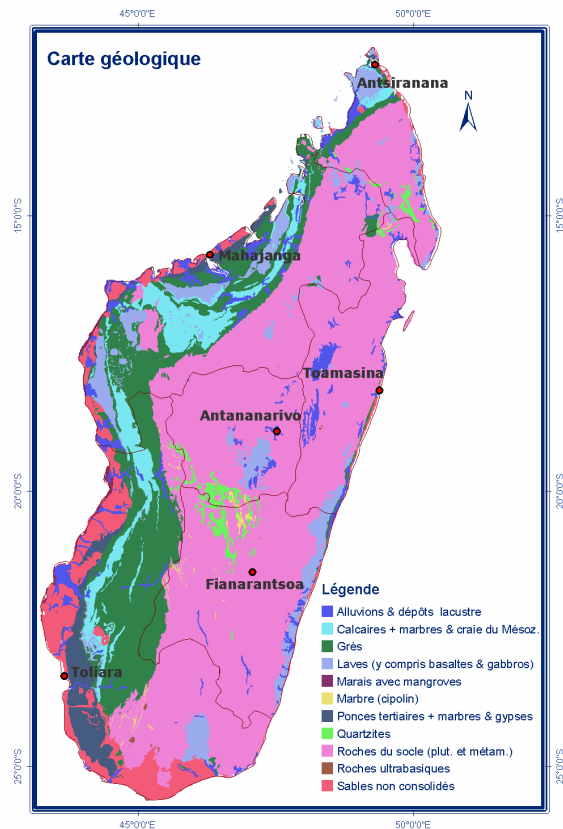


Illustration 2. Carte géologique de Madagascar.

les gneiss, les migmatites, les schistes et les amphibolites ainsi que des méta-sédiments archéens.

Les migmatites, en particulier, s'étendent sur une surface très importante avec toutefois une certaine hétérogénéité et une distribution irrégulière. Des études minéralogiques plus poussées ont permis de les classer parmi les granits migmatitiques.

La zone étudiée sous l'aspect lithologique est composée, à 90% au moins, d'ignites et de métamorphites. A l'intérieur de ce secteur la zone la plus hétérogène est la zone septentrionale où, en plus des roches métamorphiques citées ci-dessus, on trouve également des quartzites, des marbres, des roches éruptives intrusives et effusives ainsi que des dépôts alluviaux.

Dans cette zone les conditions pédogénétiques (et en particulier la pluviosité élevée) ont causé une intense altération relative à l'hydrolyse des roches métamorphiques comme le gneiss et les migmatites. Pourtant, compte tenu également de la nature de la couverture végétale, des sols à caractère typiquement acide se sont

formés sur ces substrats lithologiques sont nés, sauf sur les zones calcaires, du reste limitées.

2.4 AGRICULTURE

L'agriculture est très importante pour l'économie Malgache parce qu'elle constitue presque les 80% des exportations du pays. Elle représentait 33% du P.I.B. (Produit Intérieur Brut) en 1993 et employait, cette même année, presque 80% de la force de travail. 41% de la superficie totale sont utilisés pour le pâturage, tandis que 16% des terres sont irrigables.

Le recensement agricole effectué en 1984-85 a estimé à 8,7 millions le nombre de personnes vivant dans les zones rurales, dont 65% vivent d'une agriculture de subsistance.

A l'époque du recensement la dimension moyenne d'une exploitation agricole était de 1,2 hectares, même si celle de la plupart des rizières des hauts plateaux centraux n'était que de 0.5 hectare. En 1993 seul 1% de la surface totale du pays (soient 58,7 millions d'hectares) était cultivé de manière continue.

Le riz est le produit agricole le plus important. En 1989 la production était d'environ 2,4 millions de tonnes. Elle n'était toutefois pas suffisante pour satisfaire les besoins intérieurs. En 1992 la riziculture occupait deux tiers environ de la zone agricole totale et produisait les 40% du revenu agricole total.

La culture du manioc, la deuxième culture à usage alimentaire en termes de surface investie (presque partout sur l'île) et probablement aussi de quantité consommée, a une production de 2,32 millions de tonnes environ, en 1992.

Dans la même année il y a eu une production de 165.000 tonnes de céréales, 487.000 tonnes de patates douces et 220.000 tonnes environ de bananes.

Le café est un des principaux produits d'exportation et a généré un profit record de 151 millions de dollars en 1986.

Traditionnellement, le coton a toujours été le deuxième produit destiné à l'exportation. Toutefois, au début des années 80, la majorité de la production a été absorbée par l'industrie textile locale,

même si la production du coton a baissé à 20.000 tonnes en 1992.

Deux autres produits d'exportation sont les clous de girofle et la vanille, cependant leurs productions ont subi une baisse importante, déjà dans les années 80 et ce jusque dans les années 90. La production de vanille en 1993 était de 700 tonnes.

Dans le secteur primaire toujours, la pêche, en particulier celle des crevettes accuse la plus forte augmentation, arrivant même à compenser le déclin de l'exportation du café, de la vanille et des clous de girofle. En 1993, 114.370 tonnes de crevettes ont été exportées, générant 48 millions de dollars de recettes d'exportation.

La zootechnie a souvent été limitée par des modèles traditionnels d'élevage de bétail, qui en a empêché la commercialisation. Environ 99% du bétail sont constitués par les zébus. En 1990 l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture a estimé le cheptel bovin de Madagascar à 10.3 millions de têtes, le cheptel ovin et caprin à 1,7 millions de têtes et à environ 21 millions le nombre de poules (U.S. Dep. Of Army, 2003).

2.5 VITICULTURE

2.5.1 LA VITICULTURE SOUS LES CLIMAT TROPICAUX

L'agriculture dépend énormément des facteurs climatiques tant du point de vue qualitatif que quantitatif. Dans cette optique, on doit prêter une attention particulière à l'expansion agricole dans les zones se trouvant aux limites de leur potentialité agricole. Dans le cas de Madagascar, comme il a déjà été dit précédemment, du fait qu'il se trouve dans l'hémisphère sud et est de plus traversé par le Tropique du Capricorne, l'activité végétative de la vigne s'y déroule durant la période où les températures sont toujours élevées, où les pluviosités sont fréquentes et intenses, où le degré hygrométrique de l'air est élevé à cause d'une forte évaporation et, tout aussi important, où l'héliophanie est de 12 heures.

Dans ces conditions, la friche est insuffisante et, à l'état naturel, la *Vitis vinifera* se comporte comme un semper virens, avec des bourgeonnements situés uniquement dans les apex végétatifs, la formation de grappes, qui restent de petite taille, tout le long des différentes phases de croissance.

Malgré cela, on pratique aussi la viticulture sous ces climats, mais uniquement dans des zones micro-climatiques qui le permettent, comme par exemple sur les hautes terres de la partie centrale de Madagascar, avec des altitudes toujours supérieures à 1.000 mètres s.l.m. Malgré cela, sous ces climats se manifestent aussi d'importants déséquilibres hormonaux en raison de la prévalence des vieilles feuilles sur les jeunes. Ce qui se traduit en général par une un manque fertilité.

2.5.2 LA VITICULTURE À MADAGASCAR

Pendant les dernières années, la production vinicole mondiale s'est maintenue au-dessus des 27 millions de tonnes, dont 60% a été produit en 2002 par l'Union Européenne (Palese, 2004).

La production Européenne s'est stabilisée, pendant les dernières années, à environ 8.000 tonnes/an, soit 33% de la production totale mondiale.

A Madagascar la superficie totale de la culture viticole peut être estimée à 3000 – 4000 hectares environ et sont concentrés, pour la plupart, sur les hauts plateaux centraux, dans la zone des petites villes se trouvant entre la Capitale Antananarivo et la ville de Fianarantsoa.

Beaucoup de ces vignes sont gérées par les missionnaires qui ont introduit cette culture pour leur besoin en vin de Messe.

Parmi les exploitations les plus importantes, il faudrait citer la société «Lazan'i Betsileo» dans la région de Fianarantsoa avec 300 hectares environ - 1560 associés qui y sont regroupés - l'entreprise «Soavita» avec 30 hectares environ dans la région d'Ambalavao et l'entreprise «Cloz Malaza» avec 400 hectares environ, toujours dans la région de Fianarantsoa.

Les cépages cultivés sont ceux apportés par les missionnaires Français au siècle dernier. La plupart des entreprises citées

ci - dessus cultive l'«Isabella» et le «Couderc 13» et, en quantité moindre, le «Petit bouchet» (Cabernet Sauvignon).

L'«Isabella» est une variété appartenant à l'espèce *Vitis labrusca* (vigne américaine), «Couderc 13» est un hybride entre *Vitis lincecumii* et *Vitis vinifera*, tandis que le «Petit bouchet» est un hybride obtenu par le croisement entre les variétés *Aramon* et *Teinturier*.

Le Couderc et d'autres variétés sont appelées «hybrides producteurs directs». Ces variétés ont été créées à la fin des années 1800 à l'époque de l'invasion de la phylloxéra afin de résister à cette épidémie. Les variétés qui descendent du *Vitis labrusca* ont un goût particulier avec un fumet de fraise dit «foxy».

Cependant la vinification de ces hybrides n'a pas porté à l'obtention de vins de qualité, puisqu'ils présentent aussi un taux élevé de méthanol, supérieur à celui des vins produits à partir du *Vitis vinifera*.

Tout ceci a conduit, par exemple l'Italie, déjà depuis 1931, à la prise de mesures propres à en interdire la culture.

Actuellement la législation Italienne interdit le commerce des vins produits par des espèces autres que le *Vitis vinifera* et en 1979 une loi européenne, qui prévoit l'élimination de toutes cultures d'hybrides producteurs directs, a été promulguée.

La forme de viticulture la plus répandue à Madagascar est le contre-espalier. Les systèmes de gestion des exploitations sont parfois désuets par rapport aux standards européens et même les systèmes de défense phytosanitaire sont souvent appliqués sans un suivi attentif.

Les ennemis les plus redoutables sont les termites et la péronospora; des dommages considérables sont, par ailleurs, causés par les oiseaux. Les vols des récoltes et des ouvrages de soutènement (échelas) sont également à souligner.

Les méthodes de vinification sont pour la plupart artisanales; à cause de l'insuffisance du taux de sucre dans le mout: d'après les données relevées dans toutes les exploitations visitées, on a recours au sucrage, avec addition de sucre de canne au mout. En général le pourcentage est de 20% et parfois même plus. Les remontages sont en général effectués une

fois par semaine et le mout est laissé dans des cuves de fermentation (donc au contact de l'air) pendant 20 jours au moins.

Enfin, un autre problème, et non des moindres, du secteur viti-vinicole à Madagascar concerne la disponibilité en bouteilles en verre. Il n'existe, dans tout le pays, pas une seule usine qui en fabrique. C'est pourquoi on récupère et recycle les mêmes bouteilles, souvent sans les conditions hygiéniques appropriées.

3 Méthodologie

Les données climatiques ont été fournies par les Administrations locales compétentes. Les élaborations agro-climatiques ont concerné une analyse de la disponibilité thermique par l'utilisation d'indices bioclimatiques opportuns et une analyse des besoins hydriques moyens.

Les informations pédologiques acquises ont été suffisantes à «contextualiser» les résultats dérivés du calcul des indices sur le territoire.

L'élaboration et l'analyse des données et des informations acquises ont permis la réalisation d'un système d'information territorial (GIS).

3.1 GESTION ET ANALYSE DES DONNÉES TERRITORIALES

3.1.1 Technologie GIS (Geographical Information Systems)

La définition des politiques pour la gestion du territoire exige l'utilisation de procédures efficaces et de méthodes opérationnelles.

En effet, le territoire apparaît, dans sa définition la plus large, comme un système complexe d'éléments interdépendants coexistants dans un même espace. De ces prémisses on peut déduire combien la description d'un tel système présente des difficultés considérables et combien il est important de se doter d'instruments d'analyse et de décision qui permettent de connaître et d'analyser le territoire d'une manière complète en tenant compte des relations complexes existant entre ses composants.

De ce point de vue, les GIS représentent un instrument efficace car ils se prêtent, d'une part, au stockage des données territoriales d'une manière logique et structurée et, d'autre part, ils permettent de mettre au point des méthodes d'analyse pour la planification des interventions.

Le secteur agricole représente, sans aucun doute, un des champs d'application les plus importants.

3.1.2 Application du GIS à la région de Fianarantsoa

Les informations contenues dans le GIS décrivent et analysent les aspects pédo-

climatiques de la zone située près de Fianarantsoa et, puisqu'il s'agit d'un système ouvert, il sera possible de le compléter avec d'autres données territoriales plus détaillées, si elles sont disponibles.

L'échelle du travail adoptée est plus au moins comprise entre 1:1.000.000 et 1:200.000 en fonction de la disponibilité et de la structure des données climatiques et territoriales de la zone étudiée.

Une fois que la zone d'étude eut été géographiquement délimitée, nous avons procédé à la définition de la structure physique du database, en déterminant les éléments géométriques (cartographie de base) et thématiques (cartographie thématique) qui entrent dans le GIS et en définissant les procédures relatives d'acquisition des données.

Le software GIS utilisé est le ArcGis Desktop ArcInfo (ESRI), version 8,3 avec comme extensions le Spatial Analyst et le Geostatistical Analyst.

Nous avons utilisé un «modèle de données mixte» qui prévoit soit l'emploi d'un format vectoriel simple comme le shapefile, soit l'emploi du format raster de la ESRI (grid) qui a permis d'effectuer toutes les analyses spatiales d'une manière simple et rapide. Le système de coordonnées adopté est «Tananarive 1925».

La base des données du système d'information est regroupe:

- Les limites (=délimitations) administratives;
- Les stations météorologiques;
- La carte géologique à l'échelle 1:1.000.000 (Simplified Geology of Madagascar – Royal Botanic Gardens, Kew) (Illustration 2);
- La carte de la végétation à échelle 1:1.000.000 (Madagascar, Remaining Primary Vegetation – Royal Botanic Gardens, Kew) (illustration 3);
- La carte des végétations avec classification géologique à l'échelle 1:1.000.000 (Madagascar, Remaining Primary Vegetation Classified by the Underlying Geology – Royal Botanic Gardens, Kew);
- La carte de la végétation de Madagascar à l'échelle 1:200.000, feuilles: SE

38D Ambositra, SE38H 38^E Fianarantsoa (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural) (illustration 4);

- Digital Elevation Model (DEM) pixel size: 1 degré (Illustration 5);
- La carte des inclinations (illustration 6);
- La Carte des expositions (illustration 7);
- Données météorologiques.

Les données sur papier support ont été digitalisées et géoréférencées (Carte de la végétation à l'échelle 1:200.000) tandis que les données restantes ont été reproduites dans le modèle défini, avec relative géo-référence selon le datum établi. Il a été possible déduire les valeurs de l'inclination et de l'exposition à partir du DEM. Elles deviennent de nouvelles sources d'informations fonctionnelles pour l'étude morphologique de la zone étudiée.

Nous avons créé le dataset à partir des «stations-points» et de l'esquisse des clefs nécessaires à la connexion sur la banque des données climatologiques.

A partir des données météorologiques il a été possible d'élaborer des cartes climatiques, agroclimatiques et des index climatiques spécifiques pour la vigne, et de spatialiser les données sur chaque station grâce à la formule de l'ArcGis Geostatistical Analyst. Cette analyse s'est révélée très absorbante, elle concernait le choix de la méthode de spatialisation la plus adaptée pour chaque paramètre considéré.

3.1.3 Spatialisation des données

L'interpolation des données ponctuelles est utilisée pour reproduire des surfaces qui indiquent comment la variable considérée se comporte dans l'espace, de manière à en connaître également la valeur dans les zones où elle n'a pas été relevé. Le passage de données ponctuelles à des données continues dans l'espace à propos

de la grandeur considérée peut se faire à l'aide de différentes méthodes,

Le choix de la méthode d'interpolation a été dicté, en général, par la comparaison des résultats statistiques des spatialisations avec différentes méthodes, en considérant l'«écart quadratique moyen» (RMS standardisé), comme indicateur de l'efficacité de la technique d'interpolation. La méthode d'interpolation adoptée pour les valeurs de précipitation est le «Kriging» ordinaire, en utilisant un modèle sphérique. Les données ont été normalisées par transformation logarithmique, en déterminant une structure anisotrope du dataset.

Les valeurs de la température et des indices de Winkler et Huglin ont été reconstitués, lorsque les points n'ont pas été relevés, en appliquant l'équation de la ligne droite de régression trouvée entre température et altitude (tableau 1).

La donnée ainsi obtenue a été corrigée en l'additionnant aux écarts reconstitués/mesurés, spatialisés avec la technique de l'«Inverse de la Distance» (IDW). Les amplitudes thermiques, l'évapotranspiration et les consommations hydriques ont été spatialisées avec la technique de l'Inverse de la Distance; l'indice de Bramas avec le Kriging ordinaire.

Grandeur altitude	Pente	Intercepte	Coefficient de détermination (r ²)
T max décembre	-0,0042	31,335	0,777
T max janvier	-0,0037	31,257	0,789
T max février	-0,0037	31,181	0,834
T max an	-0,0038	28,833	0,796
T min décembre	-0,0047	21,150	0,789
T min janvier	-0,0047	21,840	0,834
T min février	-0,0048	21,840	0,777
T min an	-0,0049	18,600	0,796
Huglin	-0,6950	3335,3	0,851
Winkler	-0,7400	2825,3	0,918

Tableau 1. Paramètres statistiques de la régression des températures et indices dérivés avec l'altitude

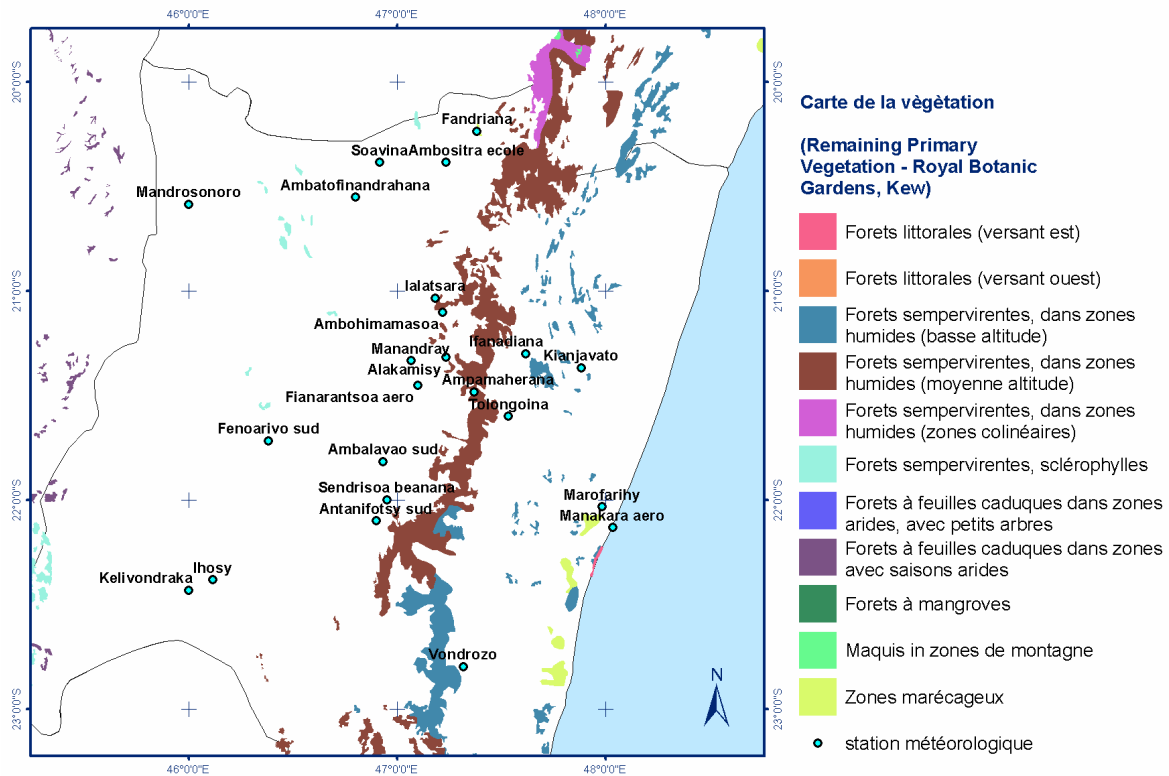


Illustration 3. Carte de la végétation de Madagascar à l'échelle 1:1.000.000.

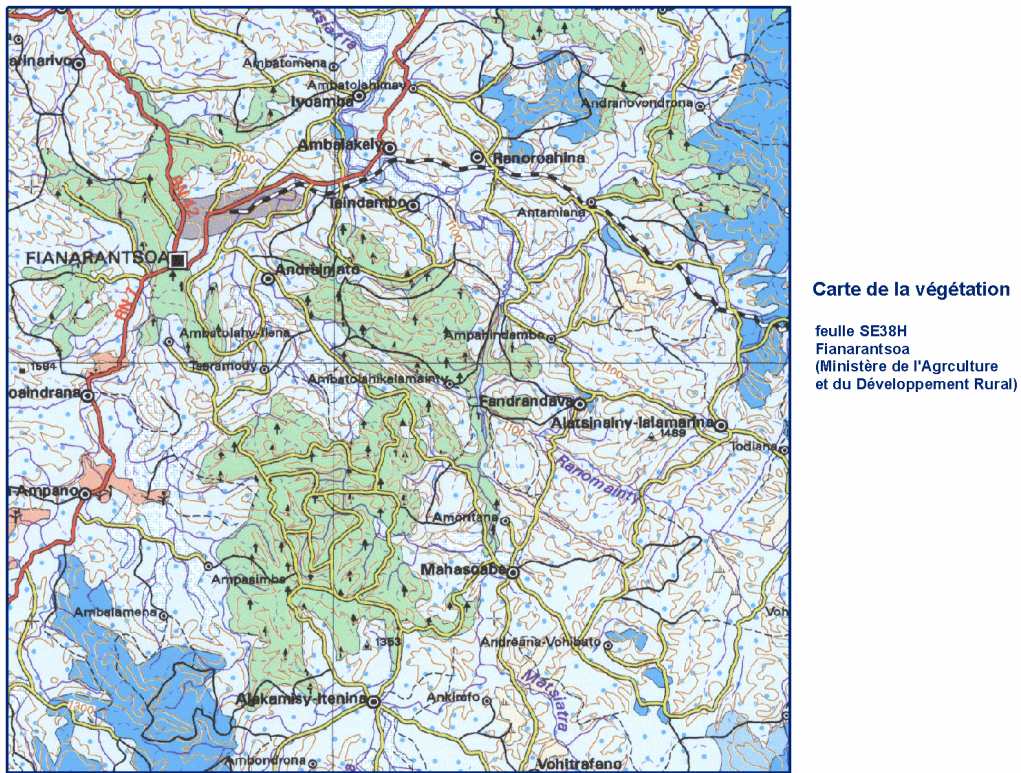


Illustration 4. Carte de la végétation de Madagascar à l'échelle 1:200.000, feuille: SE 38D Ambositra, SE 38H 38E Fianarantsoa.

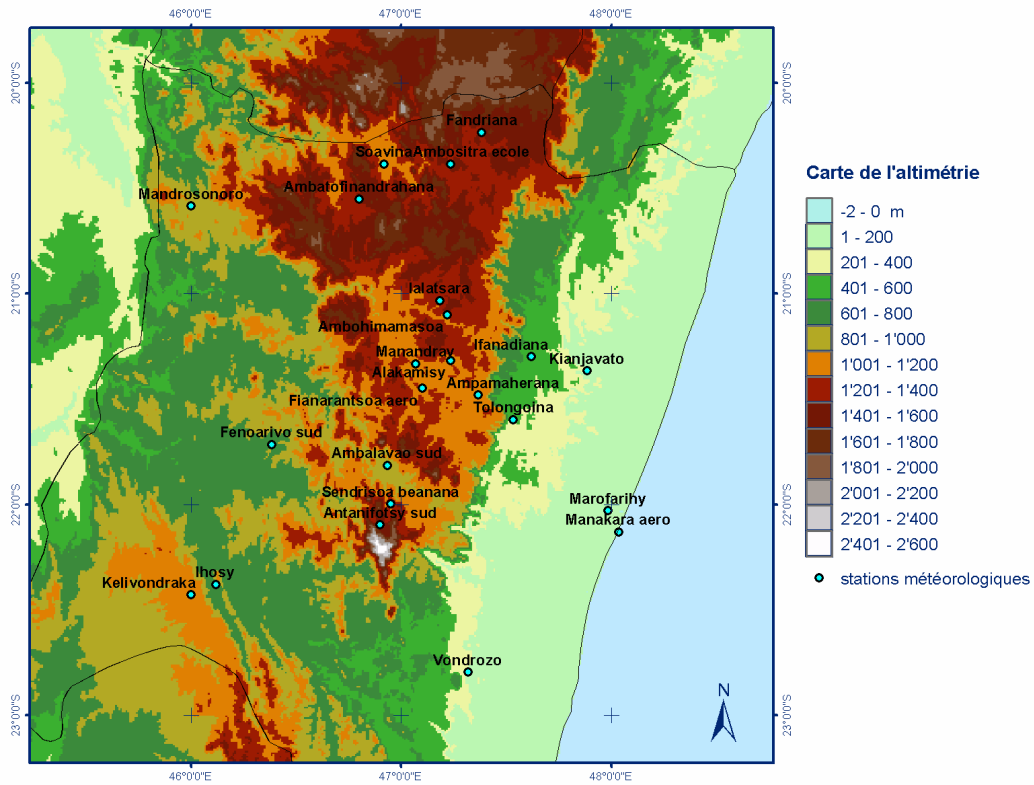


Illustration 5. Carte de l'altimétrie – Digital Elevation Model (DEM) pixel size: 1 kilomètre.

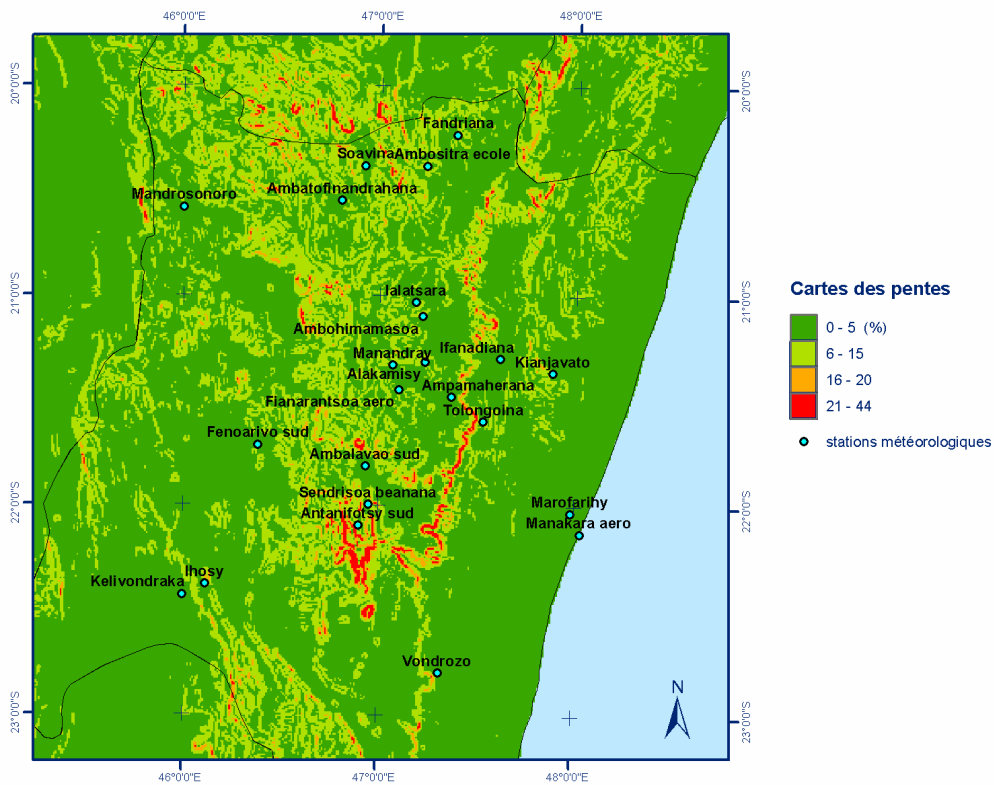


Illustration 6. Carte des pentes.

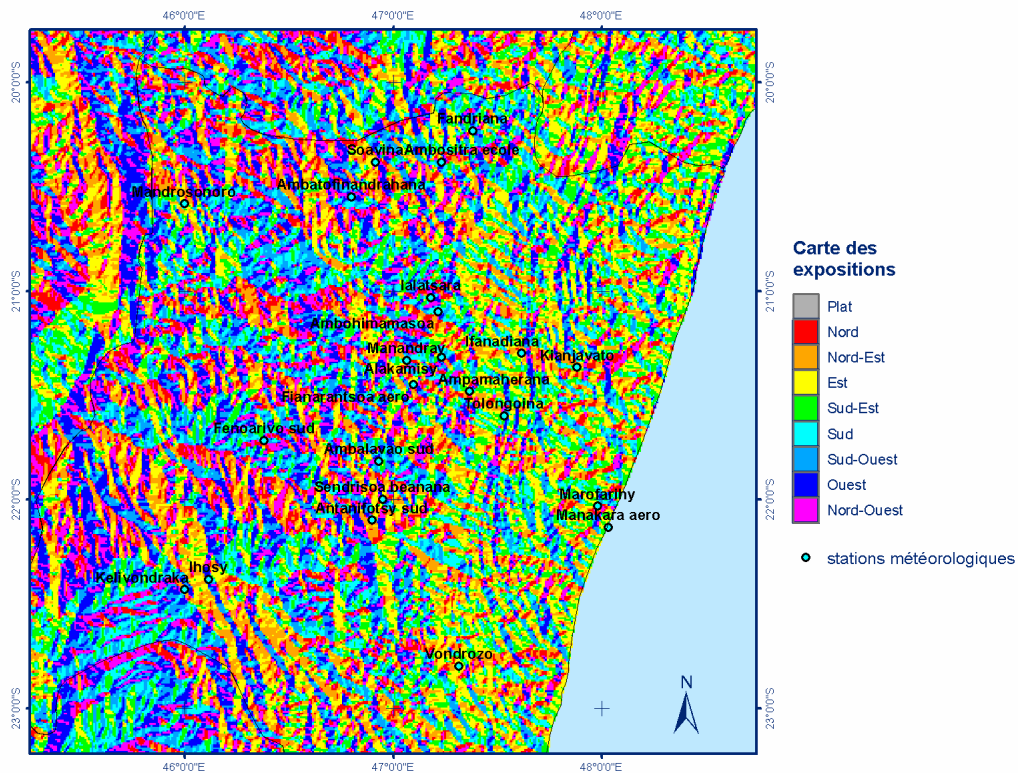


Illustration 7. Carte des expositions.

3.2 ETUDE CLIMATOLOGIQUE

La description et la classification du climat d'une région géographique est basée sur l'analyse des grandeurs météorologiques plus communément étudiées, comme la température et les précipitations, dont le développement est lié aux variations saisonnières de la circulation atmosphérique.

L'étude climatologique sur longue période de la zone viticole à Madagascar a donc été réalisé sur la base de séries historiques assez longues relatives aux stations qui se trouvent dans la région de Fianarantsoa, provenant des Archives du Centre Météorologique et Hydrologique National.

Pour la description climatologique du terroir étudié, En particulier, des séries historiques étendues sur une période de trente ans soit entre 1961 et 1990 ont

été considérées. Tandis que pour un petit nombre de stations les données sont relatives à la période comprise entre 1951 – 1980. Toutefois même ces dernières ont été ajoutées à l'étude après considération de la superposition de deux décennies entre les périodes sus-citées, en supposant une absence de variations climatiques significatives entre les deux périodes.

Dans le tableau 2 sont énumérées les stations visitées, alors que l'illustration 8 rapporte leur répartition sur le territoire. Pour l'analyse spécifique des conditions climatologiques propres aux zones où la culture de la vigne est répandue, nous avons pris en considération un sous-ensemble de stations sur la base desquelles, nous avons formulé nos principales observations.

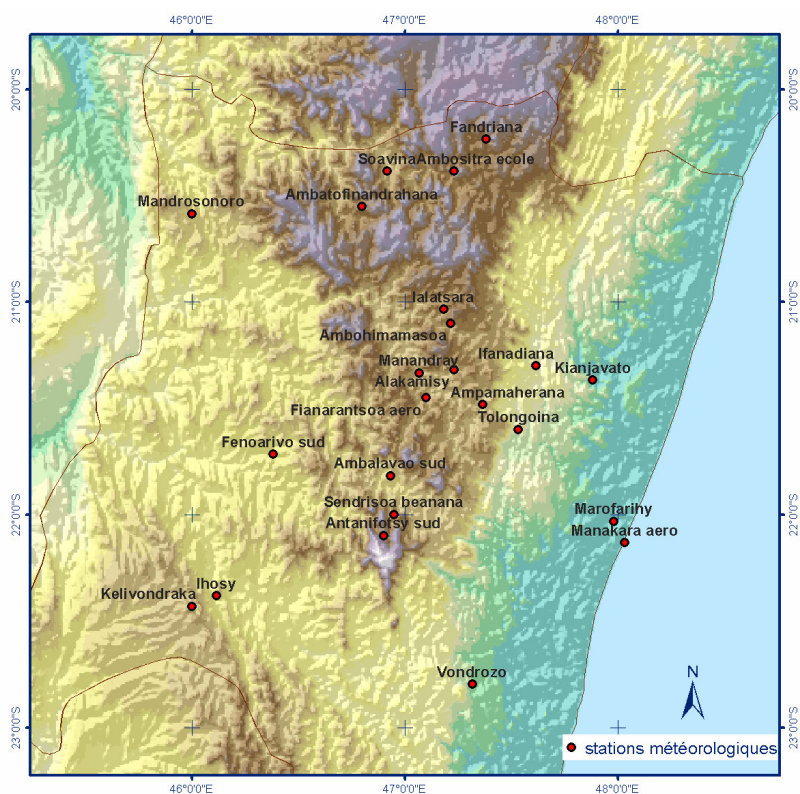


Illustration 8. Distribution des stations météorologiques.

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Préc.	Temp.	Hum.
Alakamisy	47° 14'	21° 19'	1123	P		
Ambalavao sud	46° 56'	21° 49'	1000	P		
Ambatofinandrahana	46° 48'	20° 33'	1430	P	T	U
Ambohimamasoa	47° 13'	21° 06'	1226	P		
Amboropotsy	44° 20'	17° 56'	-	P		
Ambositra ecole	47° 14'	20° 23'	1400	P	T	U
Ampamaherana	47° 22'	21° 29'	1100	P	T	U
Antanifotsy sud	46° 54'	22° 06'	1900	P	T	U
Fandriana	47° 23'	20° 14'	1400	P	T	U
Fenoarivo sud	46° 23'	21° 45'	750	P		
Fianarantsoa aero	47° 06'	21° 27'	1106	P	T	
Ialatsara	47° 11'	21° 02'	1400	P	T	U
Ifanadiana	47° 37'	21° 18'	450	p	T	U
Ihosal	46° 07'	22° 23'	730	p	T	U
Kelivondraka	46° 00'	22° 26'	800	p		
Kianjavato	47° 53'	21° 22'	210	p	T	U
Manakara aero	48° 02'	22° 08'	4	p	T	
Manandray	47° 04'	21° 20'	1200	p		
Mandrosonoro	46° 00'	20° 35'	1050	p		
Marofarihy	47° 59'	22° 02'	0	p	T	U
Sendrisoa beanana	46° 57'	22° 00'	1100	p		
Soavina	46° 55'	20° 23'	1112	p	T	
Tolongoina	47° 32'	21° 36'	390	p		
Vondrozo	47° 19'	22° 48'	80	p		

Tableau 2. Stations météorologiques et relatives grandeurs.

3.3 ELABORATIONS AGROCLIMATOLOGIQUES

Les élaborations dérivées des grandeurs météorologiques permettront de mieux caractériser le territoire en question, du point de vue des disponibilités climatiques.

Comme il a été noté précédemment, les données de départ employées dans ces élaborations sont représentées par les valeurs mensuelles de la température maximale et minimale et par les valeurs du cumul mensuel de précipitations prélevé dans chaque station météorologique. Les élaborations effectuées sont celles permises par les données climatiques disponibles et par leur échelle temporelle.

3.3.1 Indices bioclimatiques spécifiques à la vigne

Nombreuses sont les études qui démontrent l'influence du milieu sur l'expression des caractéristiques génétiques des cépages. La productivité et les caractéristiques qualitatives d'un cépage sont, en effet, le résultat de son interaction avec le milieu, c'est à dire avec les conditions pédoclimatiques et culturelles lui permettant de manifester totalement ses potentialités génétiques.

En particulier la température représente un des facteurs qui influe le plus sur le rythme de croissance et développement de la vigne; dans les deux hémisphères la vigne se développe sur une échelle de températures annuelles moyennes comprise entre 10 et 20°C.

Pour exprimer numériquement les exigences climatiques de la vigne, nous avons élaboré des indices bioclimatiques, qui trouvent leur application soit dans la définition des parts d'un territoire les plus adaptés à sa culture, dans le cas de zones nouvelles à la culture de cette espèce, mais aussi pour différencier et délimiter les différentes zones viticoles selon l'objectif productif que l'on poursuit (par exemple les raisins de table, les raisins de cuve de genre différents).

Sous l'aspect qualitatif, les conditions environnementales exerce une influence particulièrement importante sur le pro-

cessus de maturation de la baie; à titre d'exemple citons les conditions de stress hydrique estival, typique des milieux semi-arides, qui produisent des moûts présentant des rapports glucides/acidité totale et acide tartrique/acide malique déséquilibrés.

Les conditions climatiques générales et le régime thermique, en particulier, influent en outre sur la détermination des époques d'apparition des principales phases phénologiques et la composition chimique du raisin au moment de la vendange.

En ce qui concerne cet aspect on peut conclure, qu'en terme général, les milieux tempérés sont les plus indiqués pour les cépages blancs précoces utilisés pour la production de vins légers, secs et aromatiques; les milieux modérément chauds sont au contraire indiqués pour les cépages qui produisent des vins rouges secs et denses et enfin les climats très chauds se prêtent aux les cépages tardifs, blancs ou rouges, à partir desquels on obtient des vins de table et de désert à moyen et haut degré d'alcool.

On a proposé nombreux indices qui se diffèrent pour le nombre des grandeurs météorologiques considérées (uni bi et trifactorielles), et pour le «poids» que ces dernières assument, en relation à la région géographique où elles ont été élaborées.

Dans ce travail nous avons analysé quelques index bioclimatiques utiles pour déterminer les zones propres à la culture de la vigne.

L'importance de la détermination du milieu le plus approprié à un cépage particulier, apparaît aussi après considération de la durée de la période de maturation des raisins, qui varie suivant le niveau thermique ambiant, et de son influence sur les caractéristiques organoleptiques des vins.

Pour un même cépage, en effet, le vins obtenus à partir de raisins qui ont eu une maturation lente et complète seront de meilleure qualité par rapport aux vins obtenus à partir de raisins de maturation également complète, mais rapide.

A ce propos, l'exemple typique est celui du Riesling qui en mûrissant dans des

milieux tempérés-chauds ne réussit pas à développer pleinement ses qualités. Telle est la raison de la diffusion de la culture de différents clones de cépage (Riesling Italien, Clare Riesling, Grey Riesling etc).

Parmi les index bioclimatiques qui se basent principalement sur la température les plus connus ont été calculés et appliqués: Huglin, Winkler, Branias et Fregoni.

3.3.1.1 Indice de Winkler

Il s'agit d'un indice très simple développé par Winkler et employé pour la subdivision de la Californie en plusieurs zones à différentes vocations viticoles. Il est obtenu en faisant la somme des températures actives, c'est à dire la somme des températures moyennes de l'air déduite de 10°C (indiqué conventionnellement comme le zéro de végétation) pendant la période comprise entre le 1^{er} avril et le 30 octobre, pour l'hémisphère septentrional, et entre le 1^{er} octobre et le 31 mars pour l'hémisphère méridional ; c'est donc une application spécifique de la méthode générale des sommes thermiques, et s'exprime en degrés jours (°D).

La formule pour le calcul est:

$$IW = \sum_{01/10}^{31/03} (T_{med} - 10)$$

où

T_{med} température moyenne journalière (°C).

3.3.1.2 Indice de Huglin

Cet indice dit «héliothermique» a été réalisé par Pierre Huglin pour la vigne, dans le but d'améliorer la validité dans l'emploi des sommes thermiques. L'indice tient compte aussi de la longueur de la période du jour, à travers un coefficient multiplicateur (K) qui, entre 40° et 50° de latitude, change de 1,02 à 1,05 (dans notre cas, étant donné qu'il s'agit de latitudes comprises entre 20° et 30°, on a adopté la valeur minimale).

Puisqu' il prend la température maximale en considération, par rapport à l'indice précédent, cet indice est considéré comme étant plus propre à décrire les zones de

collines, caractérisées par des amplitudes journalières importantes, car les températures moyennes à elles seules ne rendent pas totalement compte des heures effectives de l'activité élaborative de la vigne.

Comme l'indice de Winkler il s'exprime en degrés jours (°D) et est appliqué dans l'hémisphère austral pendant les mois d'octobre à mars

$$IH = \sum_{01/10}^{31/03} \frac{(T_{med} - 10) + (T_{max} - 10)}{2} K$$

où

T_{med} température moyenne journalière (°C);

T_{max} température maximale journalière (°C);

K Coefficient lié à la longueur du jour.

3.3.1.3 Indice de Fregoni simplifié (amplitudes thermiques)

L'indice de qualité de Fregoni se distingue des précédents indices par le fait qu'il se base sur la somme des amplitudes thermiques pendant la maturation des graines, en particulier pendant la période précédant la vendange durant laquelle les sucres, les anthocyanes et les composants aromatiques caractéristiques sont synthétisés.

Pendant les trente jours qui précèdent la vendange, l'indice bioclimatique de qualité devrait être calculé suivant la formule suivante:

$$IF = \sum_1^{30} (T_{max} - T_{min}) \times \sum_1^{30} h$$

où

T_{max} température maximale journalière (°C);

T_{min} température minimale journalière (°C);

h nombre des heures journalières avec températures inférieures à 10°C;

Toutefois le nombre des heures journalières inférieures à 10°C n'est pas facile à déterminer, c'est pourquoi le Professeur Fregoni a projeté une deuxième formulation, plus simplifiée où il faut multiplier la somme des amplitudes thermiques journalières du mois de référence (septembre dans l'hémisphère Nord et mars dans l'hémisphère Sud), avec le nombre

des jours durant lesquels la température baisse au-dessous de 10°C.

Malheureusement il n'a pas été possible de trouver les données journalières sur la période de pré-vendange auprès des stations considérées; alors nous nous sommes limités à évaluer les amplitudes thermiques annuelles et mensuelles, de façon à pouvoir fournir des données indicatives sur les conditions thermiques influant sur les processus de maturation.

Cependant comme indices de qualité nous n'avons pu considérer que les intervalles entre les températures maximales et minimales journalières durant la période pré-vendange, déduites à partir de la climatologie. De manière plus précise, nous avons calculé les excursions pour les mois de janvier et février qui correspondent aux périodes de vendange typiques de la zone considérée.

Dans tous les cas il faut tenir compte du fait que les valeurs moyennes des températures minimales pendant les mois étudiés se placent sur des valeurs telles que l'apport des jours avec des températures inférieures à 10°C doit être considéré comme marginal voire nul, par rapport à l'indice dans son ensemble.

3.3.1.4 Indice hydrotermique de Branas

Cet indice est le produit de la température moyenne mensuelle pour le total des précipitations, dans les limites de la période pendant laquelle la vigne est en développement (octobre – mars). L'indice montre que la force de la probable virulence de la Péronospora (*Plasmopara viticola*), est strictement liée à la valeur des précipitations:

$$BI = \sum T_{med} \times P$$

où

T_{med} température moyenne mensuelle (°C) pendant l'été;

P pluies totales mensuelles (mm) pendant l'été

3.3.2 Evapotranspiration de référence

La méthode utilisée pour l'évaluation de l'évapotranspiration potentielle, appelée aussi évapotranspiration de référence et

indiquée avec E_{to} , est celle de Hargreaves-Samani, connue aussi sous le nom de méthode de la radiation solaire estimée. Il s'agit d'une méthode basée sur la température et qui par conséquent n'exige pas la connaissance d'autres variables météorologiques. La méthode proposée permet de évaluer la radiation solaire globale (R_g), donnée pas toujours disponible, à partir de la radiation solaire extra-terrestre (c'est à dire celle qui arrive sur une surface hypothétique placée à l'extérieur de l'atmosphère) et de l'amplitude thermique du mois considéré (différence entre la température maximale moyenne et celle minimale du mois).

L'équation pour l'évaluation de l'évapotranspiration potentielle avec la méthode de Hargreaves et Samani peut être formulée ainsi :

$$ET_o = 0,0023 \frac{R_a}{\lambda} \sqrt{T_d} (T + 17,8)$$

où

ET_o	évapotranspiration potentielle (mm)
R_a	radiation solaire extra-terrestre ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)
T	température moyenne mensuelle (°C)
T_d	amplitude thermique mensuelle (°C)
λ	chaleur latente de vaporisation ($MJ\ kg^{-1}$)

3.3.3 Consommations hydriques de la vigne

Pour la détermination de l'évapotranspiration de la culture, appelée communément E_c , nous avons travaillé avec «l'approche à deux phases». A l'évapotranspiration de référence, une fois calculée, nous avons appliqué un coefficient cultural (K_c) qui englobe et synthétise tous les effets sur l'évapotranspiration liés aux caractéristiques morphophysiologiques de l'espèce considérée, sur la phase phénologique, sur le degré de couverture du sol, qui les différencient de la culture de référence. Le résultat du calcul découle ainsi du simple produit de deux termes, dans un certain intervalle de temps, soit :

$$E_c = E_{to} \times K_c$$

Les valeurs calculées avec cette méthode doivent s'entendre comme étant les plus fortes consommations possibles pour les plantes cultivées sur de vastes surfaces dépourvues de parasites et présentant

des conditions de fertilité optimales et une disponibilité hydrique.

Les coefficients de culture utilisés dans cette note, rapportés dans le tableau 3, sont issus d'une littérature spécifique, et en particulier des «cahiers de la FAO», et ont été adaptés sur la base d'observations faites à Madagascar. Ceci concerne en particulier la détermination de la durée du cycle et de chaque phase phénologique.

De manière plus détaillée, nous avons basé notre observation sur une forme de culture dite à contre-espalier et la phénologie caractérisée par une reprise végétative pendant les dix premiers jours du mois d'octobre, un début de floraison vers la fin - novembre, une véraison dans le courant du mois de février et une maturation dans les premiers jours de mars.

Mois	Kc
Janvier	0,75
Février	0,75
Mars	-
Avril	-
Mai	-
Juin	-
Jullet	-
Aout	-
Septembre	-
Octobre	0,40
Novembre	0,60
Décembre	0,70

Tableau 3. Coefficients culturaux mensuels.

4 Analyse des données et des textes

4.1 CLIMATOLOGIE

4.1.1 Le climat des hauts plateaux centraux

Les hauts plateaux centraux du pays s'étendent d'Antananarivo à Fianarantsoa et se trouvent aux marges de la bande tropicale sèche et pluvieuse. Dans cette région le climat présente de nettes différences de température et de pluviosité entre la saison des pluies et la saison sèche. Néanmoins on peut aussi y ressentir, d'une façon marginale, des effets du climat de la bande tropicale pluvieuse dans cette zone: les pluies y sont significatives même en hiver même si elles sont peu abondantes.

Dans les illustrations 9, 10 et 11 sont mentionnés, respectivement, les cumuls moyens des précipitations de toute l'année, de la période octobre – avril et de la période mai – septembre dans la région de Fianarantsoa qui s'étend des hauts plateaux jusqu'à la côte orientale.

La séparation entre les deux climats est très nette: la limite entre les hauts plateaux (climat tropical humide et sec) et la cote orientale (climat tropical pluvieux) coïncide avec un fort gradient OUEST – EST dans les isohyètes.

Toutefois, tandis qu'en été (illustration 10) les hauts plateaux reçoivent entre un tiers et la moitié des quantités de pluies qui tombent sur la côte en hiver (illustration 11), la pluie reçue sur les hauts pla-

teaux représente moins d'un dixième de la quantité sur la zone côtière.

Les températures sur la région des hauts plateaux sont entre les plus basses de Madagascar; les moyennes des températures minimales (illustration 12) se situent entre 9°C et 16°C, tandis que les moyennes annuelles des températures maximales (illustration 13) se situent entre 22°C et 27°C. De même l'influence de l'orographie est bien évidente dans toutes les valeurs.

Les illustrations 14 et 15 montrent les températures de janvier et juillet sur les hauts plateaux centraux.

Les valeurs de la côte qui correspondent aux valeurs typiques du climat tropical pluvieux, comme il a déjà été mentionné dans l'introduction, sont d'un moindre intérêt.

4.1.2 Le climat de la zone viticole

La partie des hauts plateaux qui intéresse cette l'étude sur la viticulture, est une vaste zone avec des altitudes variant entre 1000 et 1600 mètres au-dessus du niveau de la mer. Du point de vue climatologique toute la zone se trouve aux limites orientales de la bande climatique tropicale humide et sèche, déjà décrite dans le paragraphe sur le climat en général.

Dans les tableaux 4–11, à partir de données issues des mêmes stations sont décrites les valeurs moyennes des précipitations, températures et humidité.

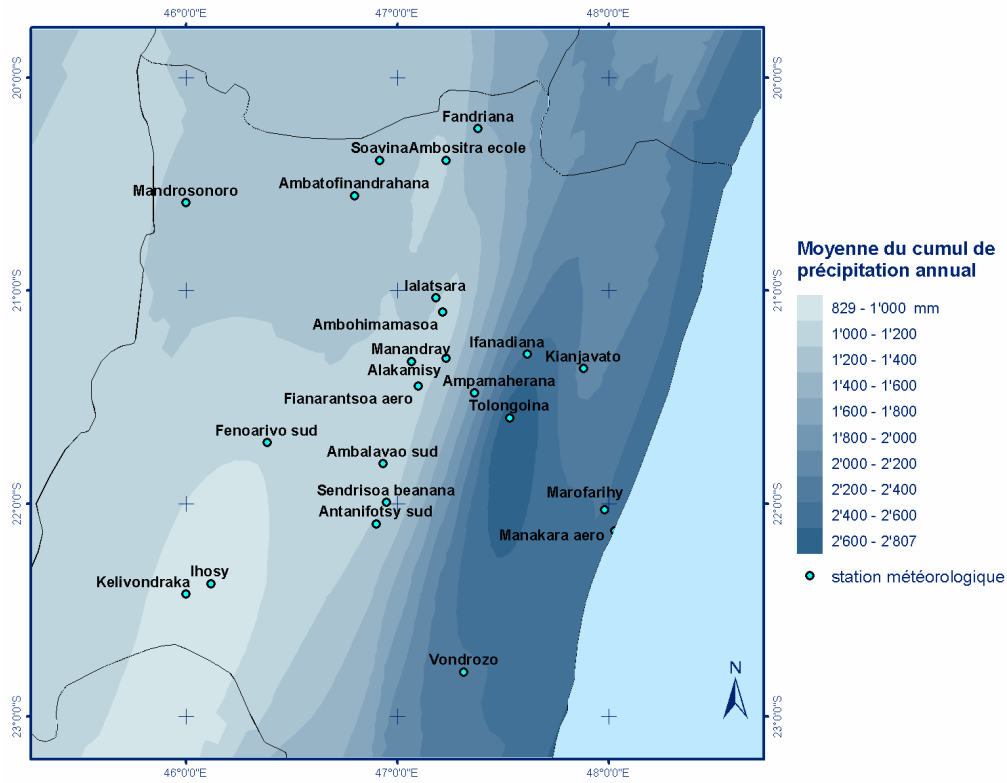


Illustration 9. Moyenne du cumul des précipitations annuel.

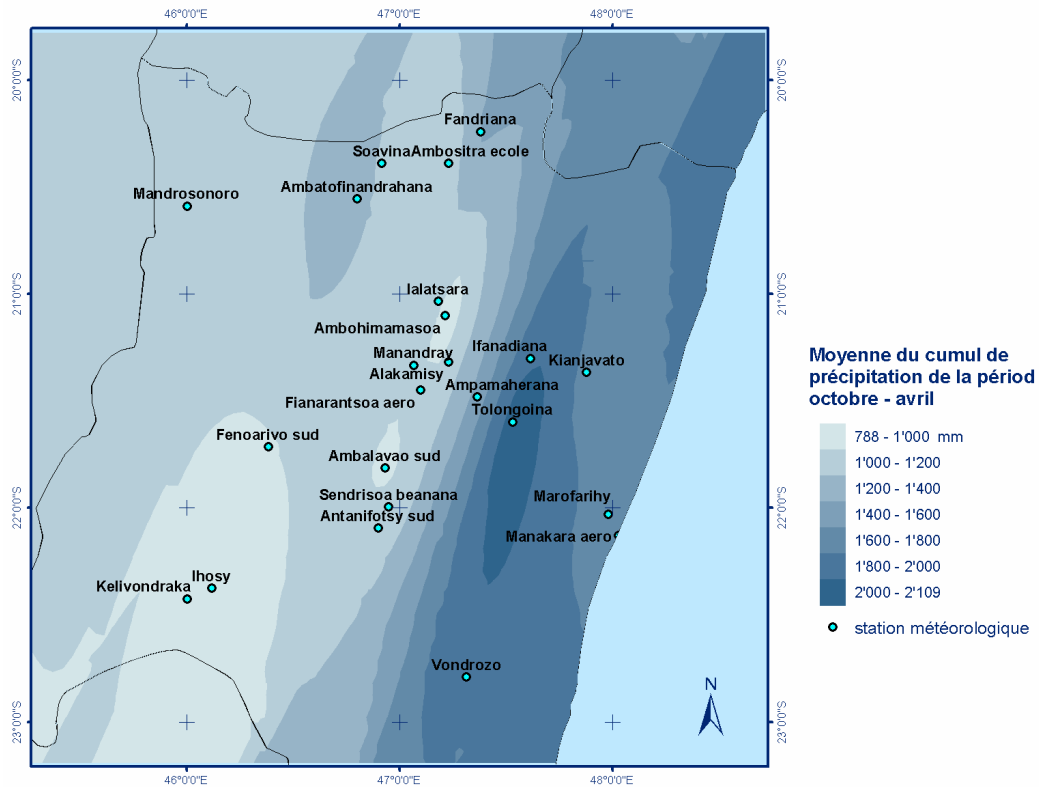


Illustration 10. Moyenne du cumul des précipitations de la période octobre-avril.

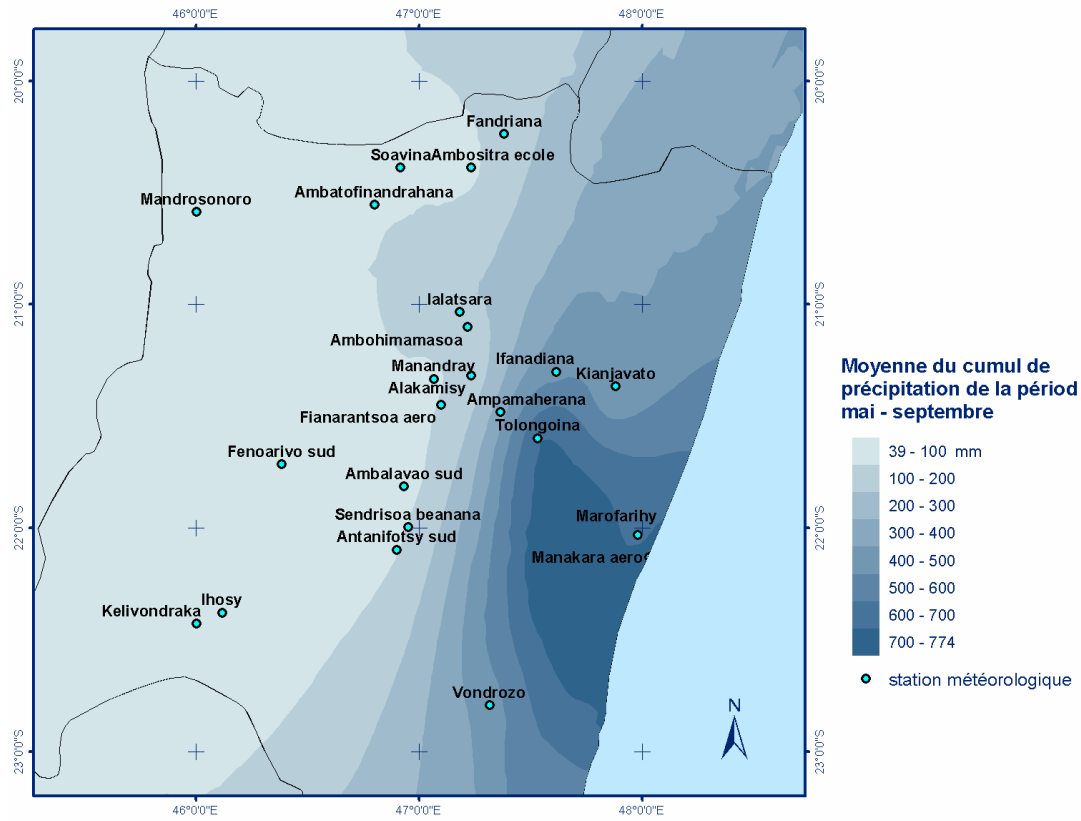


Illustration 11. Moyenne du cumul des précipitations de la période mai-septembre.

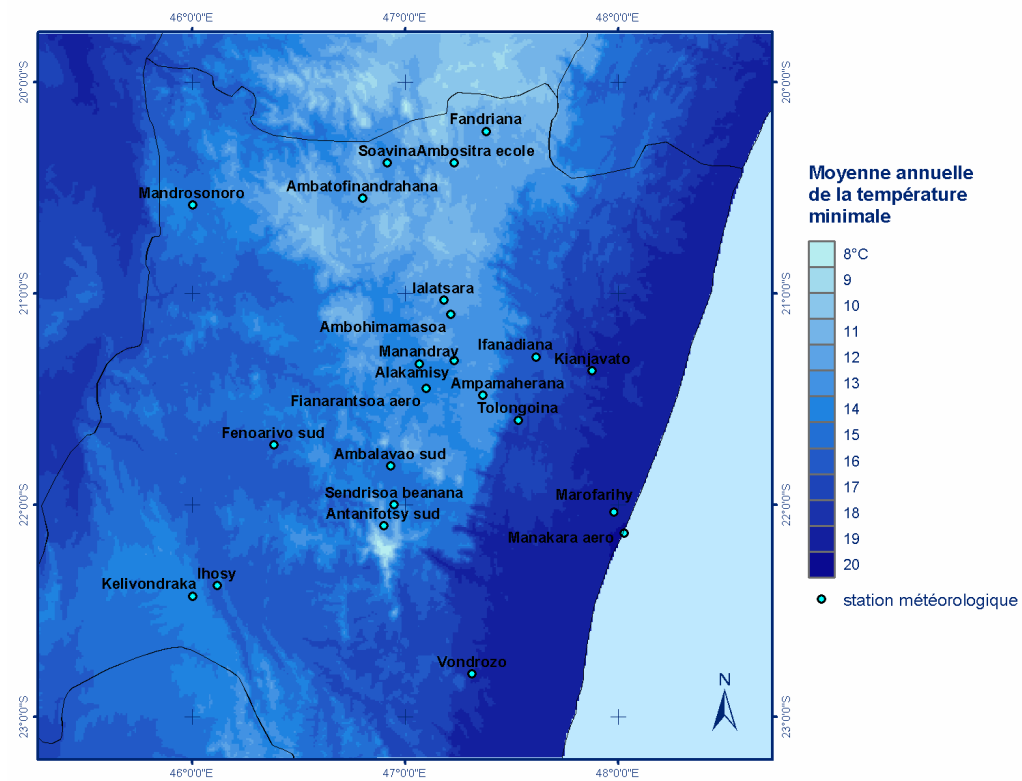


Illustration 12. Moyenne annuelle des températures minimales.

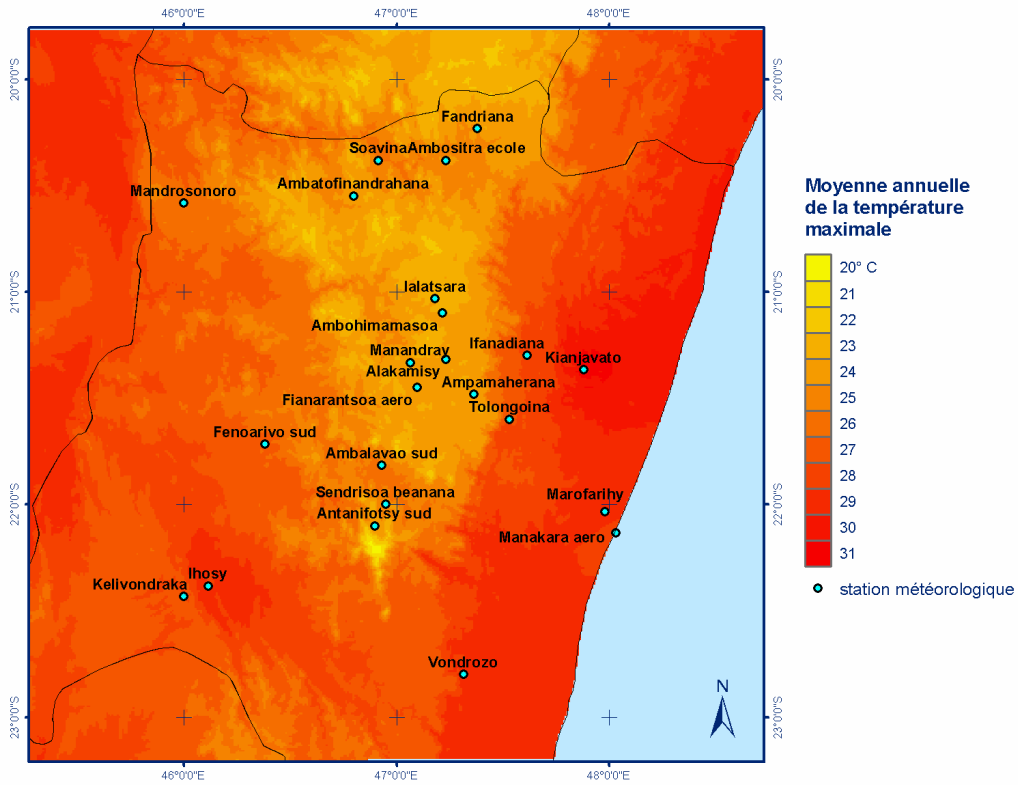


Illustration 13. Moyenne annuelle des températures maximales.

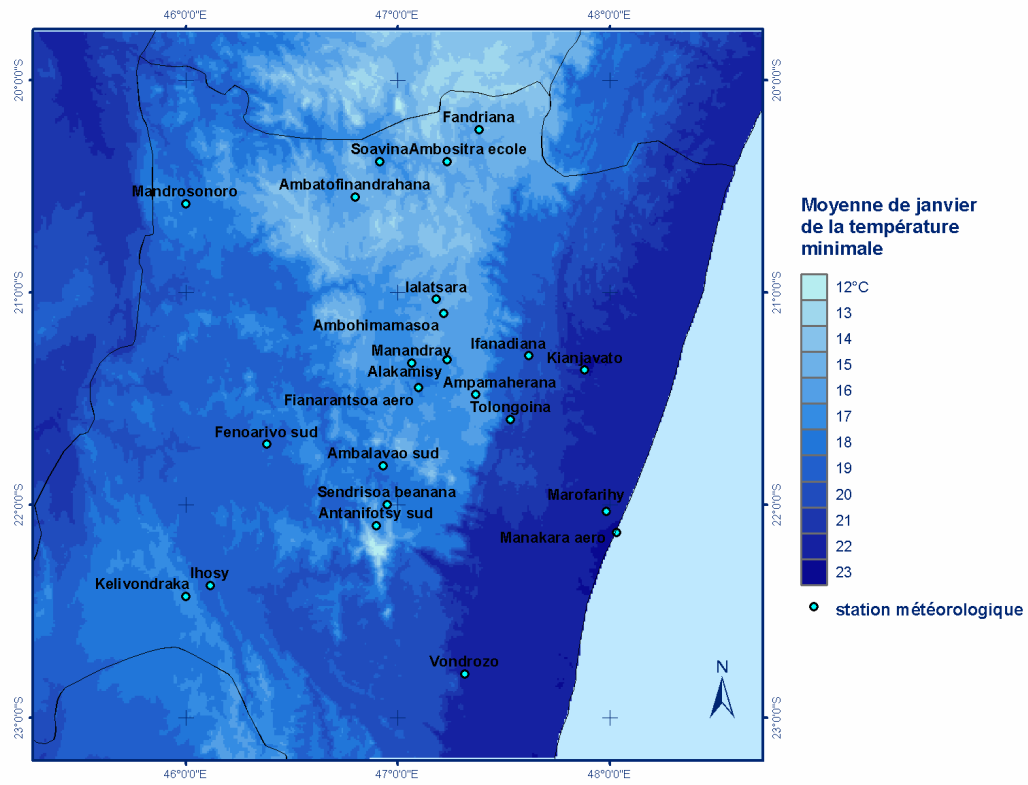


Illustration 14. Moyenne de janvier des températures minimales.

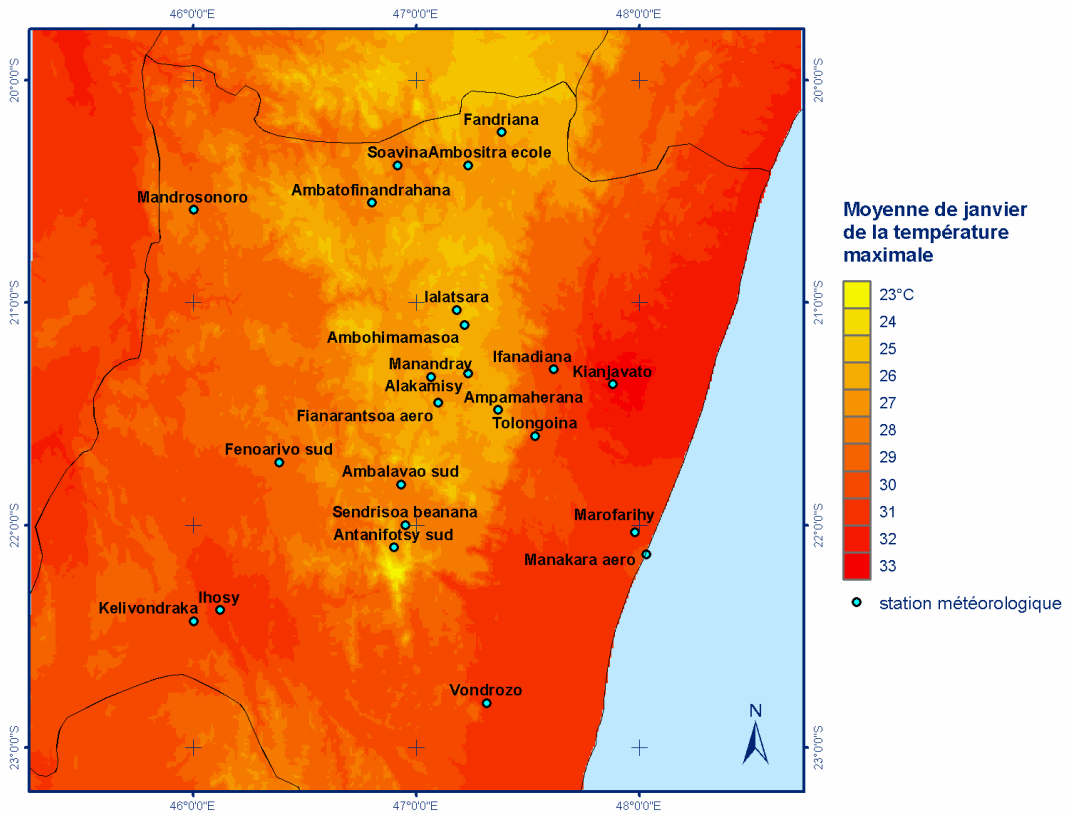


Illustration 15. Moyenne de janvier des températures maximales.

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ambatofinandrahana	20,8	20,7	19,7	19,3	16,7	-	14,1	13,4	17,1	-	19,9	20,5
Ambositra ecole	20,4	20,4	19,2	18,8	16,7	15,2	14,6	14,6	16,2	18,1	19,2	19,9
Ampamaherana	20,6	20,8	20,1	19,1	16,8	14,6	14,0	14,3	15,9	18,0	19,5	20,4
Antanifotsy sud	19,4	19,3	18,6	17,4	15,0	12,8	12,6	13,1	15,0	17,3	18,5	19,1
Fandriana	20,5	20,5	19,8	18,9	16,4	14,2	13,8	14,0	15,9	18,2	19,6	20,3
Fianarantsoa aero	21,7	21,7	20,9	19,9	17,7	15,5	14,9	15,3	17,1	19,2	20,7	21,5
Ialatsara	19,8	19,6	18,9	17,8	15,6	13,3	12,8	13,5	15,4	17,6	18,6	19,4
Ifanadiana	24,7	24,6	23,5	22,9	20,4	18,2	18,0	18,3	20,0	22,1	23,5	24,5
Ihosy	24,7	24,5	23,8	22,7	20,3	18,0	17,9	18,7	20,7	22,9	24,1	24,5
Kianjavato	26,7	26,3	25,2	24,6	22,4	20,4	19,6	19,9	20,9	23,1	24,6	26,1
Manakara aero	25,9	26,1	26,1	24,2	22,4	20,1	20,6	20,3	21,4	22,5	24,2	25,5
Marofarihy	26,3	26,3	25,7	24,9	22,9	21,0	20,4	20,7	21,7	23,4	24,6	25,7
Soavina	22,5	23,0	21,8	20,9	17,9	16,0	15,8	26,6	18,7	21,1	22,8	22,5

Tableau 4. Températures moyennes mensuelles.

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ambatofinandrahana	26,7	26,6	26,0	26,2	24,2	-	21,5	23,2	25,6	-	26,8	26,6
Ambositra ecole	26,3	26,4	25,2	25,1	23,5	22,1	21,2	21,4	23,8	25,4	26,0	26,2
Ampamaherana	25,5	25,7	24,9	24,2	21,9	20,0	19,0	19,6	22,0	24,0	25,2	25,7
Antanifotsy sud	24,6	24,4	23,9	23,4	21,4	19,2	19,0	19,9	22,5	21,6	21,8	21,6
Fandriana	26,0	26,3	25,2	24,8	22,7	20,5	19,8	20,5	23,3	25,5	26,0	26,2
Fianarantsoa aero	26,2	26,1	25,3	24,5	22,6	20,4	19,7	20,4	23,0	25,0	26,1	26,3
Ialatsara	24,8	24,7	23,9	23,1	21,0	18,8	18,0	19,1	21,7	23,8	24,6	24,8
Ifanadiana	30,0	30,0	28,4	28,2	26,1	24,1	23,6	24,2	26,3	28,7	29,6	30,2
Ihosy	30,7	30,3	29,7	29,0	27,0	24,7	24,4	25,6	28,4	30,5	31,1	30,8
Kianjavato	32,1	31,4	30,5	30,2	28,1	26,4	25,3	25,9	36,9	29,1	30,2	31,8
Manakara aero	29,5	29,7	29,7	28,0	26,4	24,3	24,9	24,3	25,8	26,4	28,0	29,1
Marofarihy	31,0	31,2	30,5	30,0	28,4	26,9	26,0	26,5	27,5	28,7	29,6	30,4
Soavina	28,6	29,1	28,0	27,8	25,4	24,1	23,5	24,8	27,3	29,3	29,9	29,1

Tableau 5. Températures maximales mensuelles.

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ambatofinandrahana	31,5	31,0	29,0	29,5	28,6	26,0	26,0	29,0	33,0	31,8	32,5	30,8
Ambositra ecole	29,9	30,9	30,1	29,2	28,2	26,6	26,5	27,2	29,0	31,1	31,6	31,4
Ampamaherana	33,0	32,0	31,5	30,6	29,5	26,3	25,4	27,0	30,0	32,0	32,5	32,2
Antanifotsy sud	30,4	29,4	29,2	28,4	28,6	24,2	24,5	26,9	30,2	32,2	31,6	30,2
Fandriana	32,2	31,2	30,5	29,8	28,3	26,6	27,6	29,3	31,2	31,7	32,6	33,8
Fianarantsoa aero	32,2	31,5	30,7	30,4	29,6	26,8	25,9	27,4	32,0	32,3	33,5	32,4
Ialatsara	30,6	29,9	29,5	28,4	27,5	25,5	23,4	25,4	28,9	30,4	30,2	30,9
Ifanadiana	35,6	35,5	33,8	34,0	31,9	30,2	28,9	30,6	34,0	34,7	36,2	37,0
Ihosal	35,8	39,7	35,3	34,6	33,8	31,3	31,2	32,5	34,9	36,9	36,4	35,5
Kianjavato	37,6	37,6	35,4	35,5	34,0	31,5	30,9	30,5	32,2	34,8	37,8	37,9
Manakara aero	33,9	35,0	33,7	33,3	31,2	30,0	28,6	29,2	29,2	30,0	32,9	33,7
Marofarihy	36,3	36,8	35,2	35,3	34,9	31,8	31,9	34,0	32,0	33,3	35,3	35,5
Soavina	31,7	32,0	31,0	30,3	29,8	28,0	27,0	29,5	33,0	34,4	35,5	32,5

Tableau 6. Températures maximales extrêmes.

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ambatofinandrahana	14,8	14,8	13,5	12,8	9,2	-	6,7	7,5	8,7	-	13,1	14,4
Ambositra ecole	14,6	14,4	13,2	12,4	9,9	8,2	8,0	7,8	8,6	10,7	12,4	13,5
Ampamaherana	15,7	15,9	15,3	14,0	11,7	9,1	8,9	9,0	9,9	12,1	13,8	15,0
Antanifotsy sud	14,1	14,1	13,3	11,5	8,6	6,4	6,1	6,3	7,5	10,1	12,1	13,6
Fandriana	15,0	14,6	14,3	13,1	10,2	7,9	7,8	7,4	8,4	10,8	13,2	14,4
Fianarantsoa aero	17,2	17,2	16,6	15,2	12,7	10,5	10,1	10,2	11,2	13,4	15,3	16,6
Ialatsara	14,8	14,6	14,0	12,5	10,1	7,8	7,6	8,0	9,1	11,3	12,7	13,9
Ifanadiana	19,4	19,2	18,6	17,6	14,7	12,4	12,5	12,3	13,7	15,6	17,4	18,8
Ihosal	18,6	18,7	17,9	16,4	13,6	11,3	11,5	11,8	13,1	15,3	17,2	18,1
Kianjavato	21,3	21,2	19,8	19,1	16,6	14,5	14,0	14,0	14,8	17,1	18,9	20,3
Manakara aero	22,3	22,5	21,9	20,5	18,4	16,2	16,0	16,0	17,1	18,6	20,3	21,8
Marofarihy	21,6	21,5	20,8	19,7	17,3	15,1	14,8	14,9	15,9	18,0	19,6	20,9
Soavina	16,3	16,9	15,6	13,9	10,4	7,9	8,1	8,3	10,1	12,9	14,8	15,8

Tableau 7. Températures minimales mensuelles.

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ambatofinandrahana	11,5	10,0	6,8	7,8	3,0	0,2	0,2	-0,6	2,5	6,0	2,3	10,4
Ambositra ecole	7,0	8,2	6,8	6,5	1,0	3,0	2,1	1,2	3,0	4,8	7,5	8,2
Ampamaherana	10,0	9,9	9,1	4,3	4,1	2,0	0,5	0,1	1,0	4,5	8,0	8,9
Antanifotsy sud	8,5	6,0	5,0	3,9	1,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	5,9	8,9
Fandriana	9,5	6,0	8,8	7,9	1,1	1,0	0,4	1,0	1,0	1,5	6,8	9,2
Fianarantsoa aéro	11,7	11,1	9,9	5,3	3,8	0,0	0,8	2,0	3,2	5,6	8,5	12,0
Ialatsara	9,6	9,7	6,3	5,8	3,9	2,2	2,0	1,6	2,7	4,1	6,0	8,6
Ifanadiana	12,0	15,2	12,8	11,0	8,0	2,2	5,5	5,0	7,4	9,1	11,7	12,5
Ihosal	9,0	14,0	11,1	6,9	5,0	0,1	3,0	2,5	4,5	9,1	10,0	14,9
Kianjavato	15,1	16,1	14,5	14,1	8,9	7,8	8,1	9,1	7,0	11,5	11,0	11,5
Manakara aéro	17,9	18,9	18,9	12,6	13,5	10,1	8,6	9,9	10,7	13,7	11,9	18,2
Marofarihy	17,4	17,7	16,7	15,0	10,5	10,0	8,2	10,1	10,2	13,5	12,6	17,0
Soavina	12,2	11,5	11,0	9,0	4,6	-0,8	2,3	3,2	4,0	8,1	10,0	12,3

Tableau 8. Températures minimales extrêmes.

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Alakamisy	239,9	232,3	163,5	49,2	34,0	25,1	30,9	28,5	15,0	58,1	114,6	240,6
Ambalavao sud	212,5	172,1	111,2	35,3	17,2	10,9	13,4	10,7	12,2	55,4	136,4	224,1
Ambatofinandrahana	276,5	270,6	155,9	99,6	33,7	11,0	17,5	9,2	21,5	93,7	155,1	271,6
Ambohimamasoa	158,4	178,6	106,5	46,1	27,7	29,4	36,7	32,9	24,2	54,1	97,0	171,8
Amboropotsy	323,5	249,3	188,5	38,5	11,4	8,6	6,2	9,2	13,8	58,3	135,6	316,9
Ambositra ecole	230,2	172,4	115,2	86,7	21,7	12,6	18,0	14,2	12,4	90,9	139,2	226,9
Ampamaherana	335,1	347,5	242,4	77,8	60,6	58,6	81,6	109,8	52,1	73,3	123,2	283,2
Antanifotsy sud	261,0	254,3	141,1	47,6	20,4	12,8	17,3	19,5	23,3	61,6	139,1	242,8
Fandriana	310,0	240,3	193,8	98,2	38,8	20,9	32,4	26,0	25,6	101,5	186,3	312,7
Fenoarivo sud	239,1	190,6	108,6	23,5	11,6	12,1	4,1	5,1	9,3	58,0	114,5	249,1
Fianarantsoa aéro	227,8	220,8	137,6	46,4	27,3	16,5	24,6	21,4	18,0	61,5	124,9	241,4
Ialatsara	233,4	257,0	159,9	63,5	41,8	38,1	55,6	47,7	26,1	67,7	123,4	240,4
Ifanadiana	410,3	410,8	414,3	136,8	85,5	96,1	102,9	106,3	67,7	66,1	170,0	352,0
Ihosal	180,4	172,1	75,0	28,9	14,3	6,4	4,3	4,6	11,2	44,3	98,5	188,7
Kelivondraka	205,1	181,1	96,8	31,0	11,1	4,4	8,1	5,2	9,9	40,6	99,4	174,8
Kianjavato	345,8	374,8	300,1	150,3	70,2	66,9	94,1	89,1	64,1	104,1	172,6	265,9
Manakara aéro	311,4	342,9	303,9	240,2	179,3	154,0	182,1	146,1	112,8	125,4	189,1	240,9
Manandray	212,5	218,9	140,3	35,1	23,1	13,8	15,0	16,2	13,6	55,8	128,2	246,6
Mandrosonoro	297,6	239,0	175,3	36,3	9,2	5,0	7,7	5,4	12,6	52,0	120,0	279,5
Marofarihy	312,0	377,6	341,7	192,0	153,0	129,9	145,5	118,0	89,6	113,0	192,0	226,9
Sendrisoa beanana	218,7	237,7	133,6	43,1	23,9	14,2	19,1	27,5	19,5	49,6	113,5	222,3
Soavina	239,7	203,8	166,3	67,0	23,2	11,8	13,1	8,9	19,9	68,9	156,8	239,6
Tolongoina	430,5	382,6	416,8	146,1	139,4	131,3	146,0	175,4	105,6	114,9	232,4	385,7
Vondrozo	375,3	394,4	373,9	166,1	86,4	99,2	83,5	104,2	71,0	92,1	180,0	323,0

Tableau 9. Précipitations moyennes mensuelles.

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Alakamisy	17	18	17	13	10	10	13	10	7	11	13	18
Ambalavao sud	14	11	10	5	3	4	3	3	2	6	10	15
Ambatofinandrahana	14	13	10	6	3	2	2	2	2	7	12	16
Ambohimamasoa	13	14	14	10	6	7	9	9	6	7	13	16
Amboropotsy	16	13	12	4	1	1	1	1	1	5	9	17
Ambositra ecole	17	16	15	12	9	7	8	7	4	11	12	17
Ampamaherana	20	19	21	14	12	12	14	12	8	10	13	20
Antanifotsy sud	17	16	15	8	4	5	6	5	4	7	13	17
Fandriana	20	19	21	19	19	18	19	15	14	16	19	21
Fenoarivo sud	12	9	6	2	1	2	1	1	1	5	9	12
Fianarantsoa aero	19	19	21	14	11	11	13	12	7	10	15	21
Ialatsara	16	16	17	11	8	8	11	9	5	9	13	17
Ifanadiana	20	18	22	15	13	13	15	12	9	9	16	19
Ihosy	12	10	7	4	2	2	2	1	2	5	8	13
Kelivondraka	9	8	5	2	1	1	1	1	1	3	7	9
Kianjavato	18	17	19	13	12	10	12	12	9	10	13	17
Manakara aero	19	18	21	18	16	14	17	16	12	13	13	18
Manandray	15	14	12	6	5	5	6	5	4	6	11	16
Mandrosonoro	16	15	11	3	1	1	1	1	2	5	9	17
Marofarihy	13	14	17	11	10	9	12	10	6	8	9	11
Sendrisoa beanana	16	14	15	8	5	5	6	7	4	7	12	16
Soavina	16	13	12	8	3	2	2	1	3	7	13	16
Tolongoina	20	16	20	14	12	13	13	13	9	9	15	20
Vondrozo	16	14	16	12	9	10	10	10	7	8	13	16

Tableau 10. Nombre de jours pluvieux moyens mensuels.

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ambatofinandrahana	72	75	73	74	71	68	66	65	60	58	63	72
Ambositra ecole	76	78	79	79	79	79	78	77	73	70	71	75
Ampamaherana	84	85	87	87	85	74	86	83	80	80	82	83
Antanifotsy sud	80	81	81	77	77	75	75	73	67	68	73	78
Fandriana	77	79	80	79	78	79	78	76	71	70	74	77
Ialatsara	81	82	84	83	82	83	84	80	75	74	75	79
Ifanadiana	83	83	85	84	84	84	84	83	79	76	79	82
Ihosy	72	76	75	72	71	71	69	65	59	59	63	69
Kianjavato	77	78	80	81	82	82	82	79	75	74	75	75
Marofarihy	81	83	83	84	82	82	83	81	80	79	79	80

Tableau 11. Humidité relative (%) moyenne mensuelle.

4.1.2.1 Précipitations

La saison des pluies commence en Octobre et dure jusqu'en Janvier. Les précipitations deviennent progressivement plus abondantes, puis elles décroissent jusqu'en avril.

Pendant le mois d'octobre on observe des cumuls de précipitation compris entre 50 et 100 mm répartis sur 7-15 jours.

En novembre les valeurs se situent entre 100 mm et 200 mm distribués sur 10-20 jours. Pendant les mois de Décembre à Janvier on peut observer des valeurs moyennes de 200-300 mm/mois environ répartis sur 15-20 jours par mois. En mars les précipitations sont presque aussi importantes qu'en Novembre. En Avril, enfin, on observe des valeurs semblables à celles d' Octobre.

Une autre caractéristique des précipitations du terroir est le gradient positif du Sud du Nord que l'on peut observer principalement dans les cumuls de précipitation. Il s'agit d'un gradient qui suit l'altitude; en effet les précipitations sont en général plus abondantes dans la région de Fandriana (sur la pente des plus hautes montagnes de Madagascar). Par contre, elles sont plus contenues dans les zones de vallées méridionales.

4.1.2.2 Températures

Les températures suivent elles aussi un cycle annuel très évident: pendant l'été les températures sont presque uniformes aussi bien dans leurs valeurs minimales que maximales. Pendant l'hiver, au contraire, de grosses différences liées à l'altitude et à la «continentalité» sont relevées dans les températures minimales, tandis que les températures maximales encore une fois demeurent assez uniformes.

Entre Décembre et Février les températures moyennes mesurent entre 19°C et 21°C sur tout le territoire, avec températures maximales d'environ 24-26°C et minimales de 14-17°C. L'effet stabilisant est plus marqué dans les températures maximales.

Pendant les mois suivants les températures baissent progressivement jusqu'à juin-août, qui sont caractérisés par des températures minimales oscillant entre 7-8°C, dans les zones les plus élevées et au fond des vallées et jusqu'à 10°C dans la partie méridionale du territoire analysé. Les températures maximales, au contraire, oscillent entre 19-20°C et 23°C environ.

4.1.2.3 Humidité

Le cycle de l'humidité, enfin, est très intéressant. En effet l'humidité relative est uniforme pendant toute l'année, avec des valeurs maximales le matin et minimales en milieu de journée. Mais le fait que, pendant l'hiver, les températures sont plus basses démontre que le taux d'humidité contenue dans l'air est plus élevé en été qu'en hiver.

Concernant la viticulture, la période la plus importante, toutefois, va d'Octobre à Janvier-Février. C'est en effet pendant cette période que les températures augmentent jusqu'à atteindre leurs valeurs annuelles maximales.

Cependant, pendant cette période, même les précipitations augmentent jusqu'à atteindre leurs valeurs annuelles maximales; c'est la raison pour laquelle la vendange coïncide avec les trois mois de pluviosité maximale (décembre-février).

Cette croissance parallèle des températures et des précipitations constitue la différence la plus significative par rapport au climat méditerranéen, sûrement plus indiqué pour la viticulture.

Pendant l'été en effet sur presque toute la Mer Méditerranée les précipitations sont considérablement réduites, jusqu'à atteindre des valeurs proches de zéro au cours des deux mois les plus chauds de l'été (Juillet-Août), tandis que les précipitations (même si elles ne sont jamais aussi abondantes qu'à Madagascar) sont typiques de l'hiver.

Contrairement au climat de Madagascar, le climat du Bassin Méditerranéen est caractérisé par un déphasage de six mois environ entre le cycle annuel des précipitations et le cycle annuel des températures.

4.2 ELABORATIONS AGRO-CLIMATOLOGIQUES

Dans le but de mieux détailler l'étude aussi bien sur des caractéristiques agro-climatiques des zones viticoles, que sur des considérations d'ordre climatologiques, toutes les analyses ont été effectuées sur la zone des hauts plateaux centraux, avec une altitude supérieure à 800–900 mètres, plus au moins comprise entre la petite ville d'Ambositra au Nord et celle d'Ambalavao au Sud.

4.2.1 Indice de Winkler

Les valeurs obtenues auprès des différentes stations sont énumérées dans le tableau 12.

Station	Indice de Winkler (ΣTa)
Ambositra scuola	1733
Ampamaherana	1799
Antanifotsy sud	1582
Mandriana	1785
Fianarantsoa aeroporto	1991
Ialatsara	1633
Ifanadiana	2513
Ihosy	2562
Kianjavato	2788
Manakara aeroporto	2718
Marofarihy	2788

Tableau 12. Valeurs de l'indice de Winkler pour chaque station agrométéorologique.

Les valeurs calculées, mentionnées dans l'illustration 16, ont été rapportées et regroupées suivant les «Régions climatiques» établies par le même Winkler, montrées dans le tableau 13, et sur cette base nous avons examiné la distribution territoriale.

Zone	Climat	Indice de Winkler (ΣTa)
1	Froid	< 1370
2	Modérément froid	1370 ÷ 1650
3	Modérément tempéré	1650 ÷ 1925
4	Tempéré	1925 ÷ 2200
5	Chaud	> 2200

Tableau 13. Régions climatiques de référence pour l'indice de Winkler.

En termes généraux les valeurs moyennes de l'indice de Winkler, à l'intérieur de la zone d'étude, ont eu la distribution suivante:

Zone 1: les valeurs inférieures à 1370 °D ont été enregistrées seulement d'une façon marginale, dans les zones à altitude la plus élevée (en général au-dessus de 1600 m) surtout dans le secteur septentrional, aux alentours d'Ambalavao;

Zone 2: de 1370 à 1650 °D: cette bande agro climatique est modérément étendue et intéresse en particulier le secteur septentrional de la zone considérée. Elle est localisée principalement sur altitudes altimétriques proches ou supérieures à 1400 m;

Zone 3: de 1650 à 1925 °D: cette bande est la plus diffuse et intéresse les zones qui se trouvent à une altitude de 1200 – 1400 mètres environ, en particulier dans le secteur se trouvant au centre-sud de la zone examinée;

Zone 4: de 1925 à 2200 °D: dans le même secteur décrit précédemment mais sur des altimétries un peu inférieures (en général comprises entre 1000 et 1200 m) on enregistre des valeurs appartenant à cette classe;

Zone 5: les valeurs supérieures à 2200 °D, sont par contre relevés dans des zones extrêmement limitées sur les hauts plateaux, et en particulier près d'Ambalavao et de Fianarantsoa, tandis qu'elle sont très diffuses sur les altitudes inférieures.

Dans le tableau 14 nous avons énuméré les différents objectifs productifs en relation avec les valeurs typiques de l'indice de Winkler.

Objectifs viti-vinicoles	Valeurs de l'indice De Winkler
Vins mousseux	1000 – 2000
Vins de tables légers	1200 – 1500
Vins de distillation	1000 – 1500
Vins de table supérieurs	1800 – 2000
Vins très alcooliques et de dessert	2000 – 2500
Raisins de table très précoces	850 – 1200
Raisins de table précoces	1200 – 1350
Raisins de table 1ère et 2ème époque	1350 – 1500
Raisins de table 3ème et 4ème époque	1500 – 1650
Raisins de table tardifs	1650 – 1950
Raisins à sécher	1950 – 2100

Tableau 14. Principaux objectifs viti-vinicoles et relatives valeurs de l'indice de Winkler.

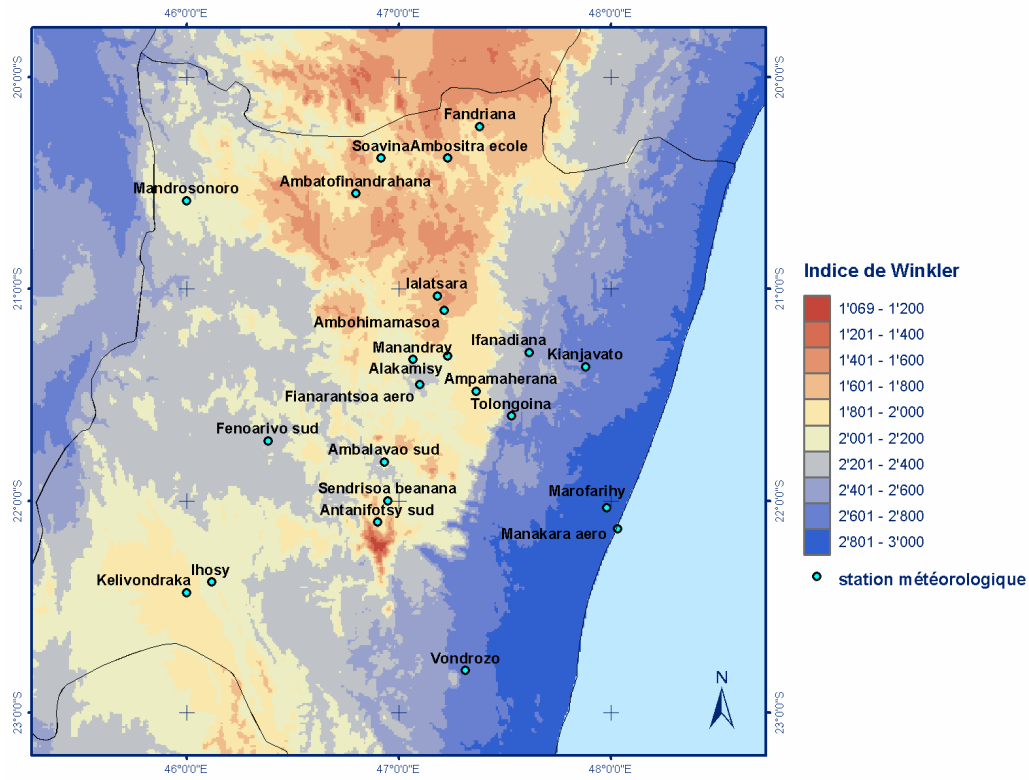


Illustration 16. Indice de Winkler.

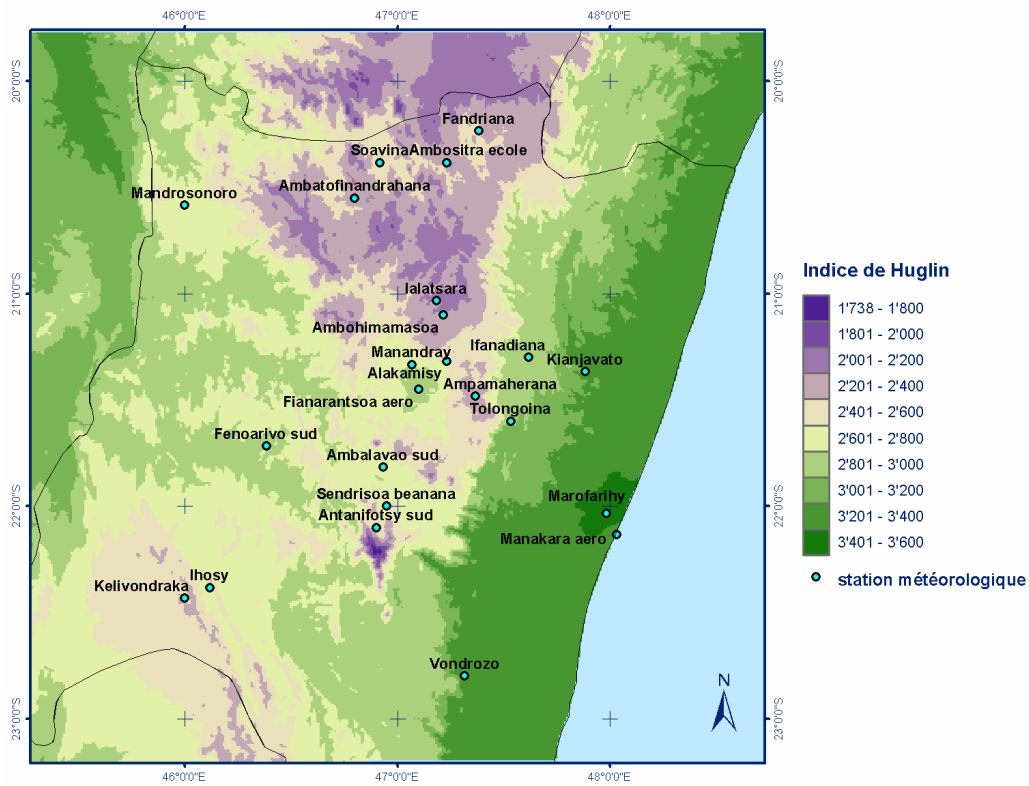


Illustration 17. Indice de Huglin.

4.2.2 Indice de Huglin

Le calcul de l'indice agroclimatique de Huglin, dans les limites de chaque station a donné les résultats énumérés dans le tableau 15.

Station	Indice de Huglin
Antanifotsy sud	2'151
Ialatsara	2'172
Ampamaherana	2'325
Ambositra ecole	2'360
Mandriana	2'382
Fianarantsoa aero	2'484
Ifanadiana	3'089
Manakara aero	3'116
Ihosal	3'211
Marofarihy	3'299
Kianjavato	3'357

Tableau 15. Valeurs de l'indice de Huglin pour chaque station météorologique.

De l'examen des valeurs sur le territoire régional entier (illustration 17) il a été conclu que la région est divisée en 4 bandes distinctes:

Bande 1: valeurs inférieures à 2000 °D: elles sont plutôt rares dans la zone sauf à des altitudes plus élevées;

Bande 2: de 2000 à 2200 °D: on la trouve en général dans les zones situées au Nord de Fianarantsoa, et intéresse, d'une façon irrégulière, surtout les localités qui se trouvent près de la bande altimétrique de 1400 m;

Bande 3: de 2200 à 2400 °D: elle concerne une bonne partie des autres zones situées dans le secteur centre-septentrional, dans la bande altimétrique qui comprend les 1200 m;

Bande 4: valeurs supérieures à 2400 °D: elles sont pour la plupart concentrées dans le secteur méridional de la zone considérée et en particulier près de Fianarantsoa et d'Ambalavao, à des altitudes altimétriques proches aux 1000 m, où on atteint même des valeurs proches de 2800 °D environ;

La disponibilité héliothermique élevée, observée dans la zone de Fianarantsoa, pourrait être exploitée pour la culture soit de cépages tardifs caractérisés par d'importantes exigences (par exemple:

raisins à sécher) soit de cépages précoces et très précoces, avec lesquels il est possible d'anticiper de beaucoup l'époque de maturation.

Dans le tableau 16 on a énuméré les valeurs de l'indice nécessaires pour les différentes typologies du produit.

Objectifs viti-vinicoles	Valeurs de l'indice de Huglin
Vins mousseux	1200 - 1500
Vins de tables légers	1300 - 1500
Vins de distillation	1500 - 2000
Vins de table supérieurs	1500 - 2000
Vins très alcooliques et de dessert	2000 - 2800
Raisins de table très précoces	1200 - 1500
Raisins de table précoces	1200 - 1500
Raisins de table 1ère et 2ème époque	1500 - 1750
Raisins de table 3ème et 4ème époque	1750 - 2000
Raisins de table tardifs	2000 - 2800
Raisins à sécher	2000 - 2800

Tableau 16. Principaux objectifs viti-vinicoles et valeurs relatives de l'indice de Huglin.

4.2.3 Indice de Fregoni simplifié (amplitudes thermiques)

L'amplitude thermique moyenne annuelle met en évidence (illustration 11) des valeurs plus élevées dans la zone méridionale à l'intérieur du secteur considéré, où elle atteint 14°C, tandis qu'elle apparaît plus contenue dans la zone septentrionale, où souvent on relève 11 -12 °C.

Au contraire pendant l'été un développement différent se vérifie: pendant le mois de décembre, et surtout de janvier (illustration 19) et de février (illustration 20), au moment de la maturation du raisin selon le degré de précocité du cépage, les amplitudes thermiques mensuelles sont plus contenues dans le secteur centre - méridional, en particulier autour de la station de Fianarantsoa, où on enregistre en moyenne 9-10 °C, par rapport aux zones du nord où on enregistre 11-12 °C environ (par exemple la zone d'Ambositra)

4.2.4 Indice hydrothermique de Branäs

On peut déduire de l'illustration 21 que, malgré l'existence d'une certaine variabilité dans le territoire existe, du reste plutôt contenue, si on limite l'analyse à

l'intérieur de la zone d'étude des hauts plateaux, qui en particulier reflète le champs des précipitations. Les valeurs obtenues grâce à cet indice semblent peu significatives car la valeur minimale, dépasse de trois fois le seuil maximum prévu par le même indice.

En effet selon la formulation de l'Auteur, les valeurs supérieures à 5100 devraient correspondre à des attaques très fortes de la Péronospora de la vigne. Pour ces raisons dans toute la région d'étude on devrait seulement planter des cépages particulièrement résistants à cet agent pathogène.

4.2.4 Evapotranspiration de référence

Les résultats de la spatialisation (illustration 22) montrent que la zone immédiatement limitrophe à la station de Fianarantsoa Aero, est une des zones qui enregistrent les valeurs les plus basses de l'évapotranspiration de référence annuelles, qui y sont inférieures à 1400 mm. Dans les zones environnantes, à l'intérieur du haut plateau centre-méridional, où la vigne est la plus présente on enregistre une Eto peu élevée, qui atteint les 1450 mm.

L'analyse des données mensuelles met en évidence un pic au mois de décembre (illustration 23), mois pendant lequel on enregistre des valeurs avoisinant les 130–140 mm pour la zone centre – méridionale, et les 150–160 environ dans les localités situées plus au Nord et à des altitudes plus élevées. Les valeurs totales relevées durant les cinq mois du printemps et d'été (illustration 24), quand le cycle de la vigne s'achève, présentent une distribution spatiale semblable à celle de décembre, avec valeurs de 700–750 environ pour la plupart du territoire étudié, jusqu'à 800 environ pour les localités plus au Nord.

4.2.5 Consommations hydriques de la vigne

L'analyse des consommations hydriques (illustration 25) obtenues grâce à l'application des coefficients mensuels de culture montre que la zone immédiatement limitrophe à la station de Fianarantsoa Aero, est une des zones qui mesure les consommations hydriques de culture les plus faibles, avec des valeurs de l'ordre de 418 à 440 mm.

Dans la partie sud le phénomène est plus marqué et concerne les zones aux alentours des stations d' Antanifotsy sud et Sendrisoa Beanana.

En général, toute la zone de culture de la vigne varie dans une fourchette comprise entre 418 et 480 mm, avec les consommations hydriques maximales localisées dans le secteur nord.

4.3 PEDOLOGIE

Il s'est révélé que les données pédologiques disponibles pour l'étude du territoire se sont limitées aux zones circonscrites et souvent de localisation géographique difficile. Cette condition n'a pas permis de réaliser un étude pédologique complet, mais les informations disponibles on permis tout de même de décrire les caractéristiques pédologiques principales.

Comme il a déjà été dit brièvement, parmi les facteurs pédogénétiques qui ont exercé les effets plus significatifs sur les caractéristiques des terrains, les facteurs climatiques jouent un rôle décisif.

La pluviosité élevée est en effet responsable de l'altération hydrolitique des roches présentes et des processus d'accumulation de fer et d'hydromorphisme.

L'ensemble de ces procédés a déterminé la formation des sols acides, peu profonds et avec un développement limité de la liitière.

Les études pédologiques effectués dans les zones plantées de vigne à Madagascar révèlent 3 profils principaux de sol, comme il est décrit dans le tableau 17.

Bien que ces profils soient particulièrement différents, ils ont un point en commun soit une texture du genre argile-limoneuse.

Les composantes argileuses, en effet, varient de 40 à 45%, les composantes limoneuses de 20 à 30%, tandis que les fractions sableuses représentent le 20% du total.

Dans l'ensemble la matrice pédologique montre une capacité élevée d'échange cationique et une forte tendance à la rétention hydrique.

En analysant plus en détail les différentes zones, dans les zones viticoles de Ambalavao on remarque un profil homogène dans les 30 premiers centimètres et du point de vue de la texture, le sol est du genre limon-argileux avec une proportion équilibrée parmi les éléments fins et gros. En outre on remarque une disponibilité réduite d'éléments minéraux, et le pH montre une réaction nettement acide avec valeurs proches de 5,0.

Dans les territoires de Antsirabe et Fianarantsoa on peut distinguer deux différents profils: le premier, qui intéresse les premiers 15 cm est limon-argileux, homogène, brun rougeâtre; le deuxième est toujours un limon argileux, homogène, mais plus rougeâtre. La précipitation des éléments nutritifs et l'échange cationique, sur ce genre de sol provoquent une réaction assez acide, avec un pH inférieur à 4,5.

Profil	Profondeur (cm)	Caractéristiques
1	0 - 25	Horizons bruns foncés, fins, mobiles, présence de racines
	25 - 50	Horizons bruns, fins, mobiles
	50 - 75	Horizons bruns, fins, mobiles
	75 - 100	Sables bruns, okus fins
2	0 - 125	Homogène, brun, limoneux, fragile
3	0 - 25	Homogène, brun, fragile, compact
	25 - 50	Homogène, brun plus clair, fragile, compact
	50 - 75	Horizons bruns avec l'intérieur clair, compacts
	75 - 100	Horizons bruns, compacts

Tableau 17. Caractéristiques des profils pédologiques principaux.

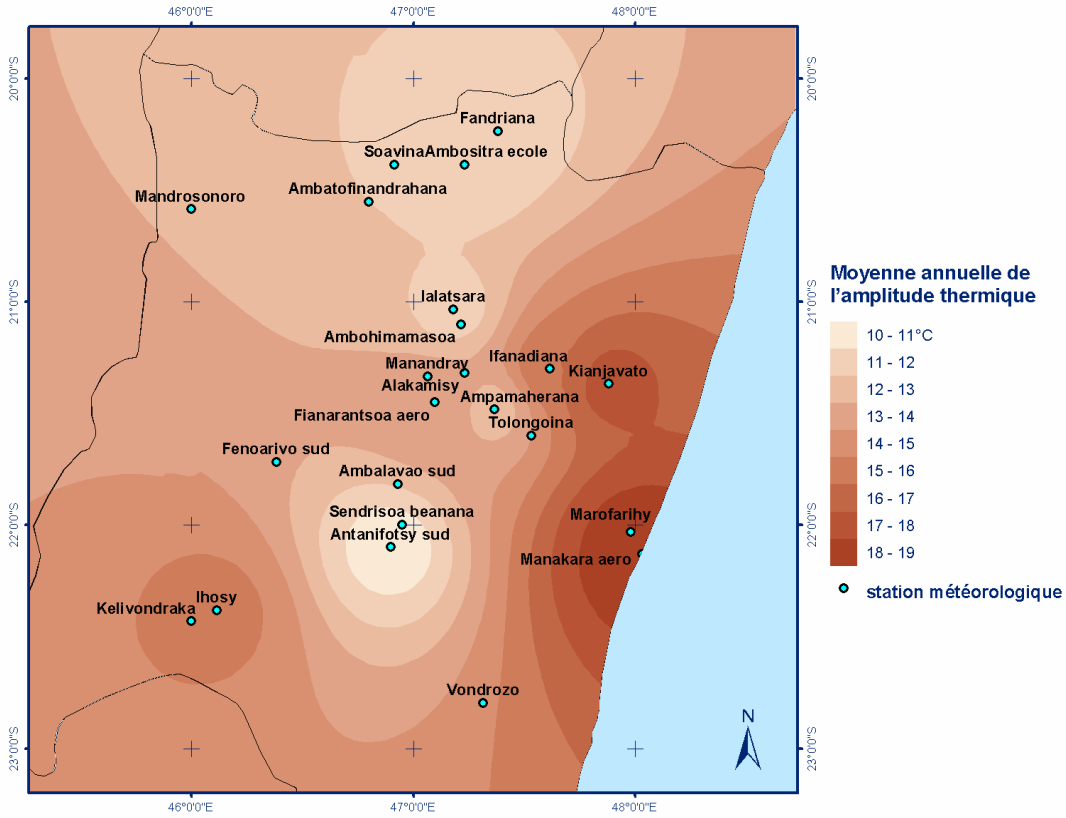


Illustration 18. Moyenne annuelle de l'amplitude thermique.

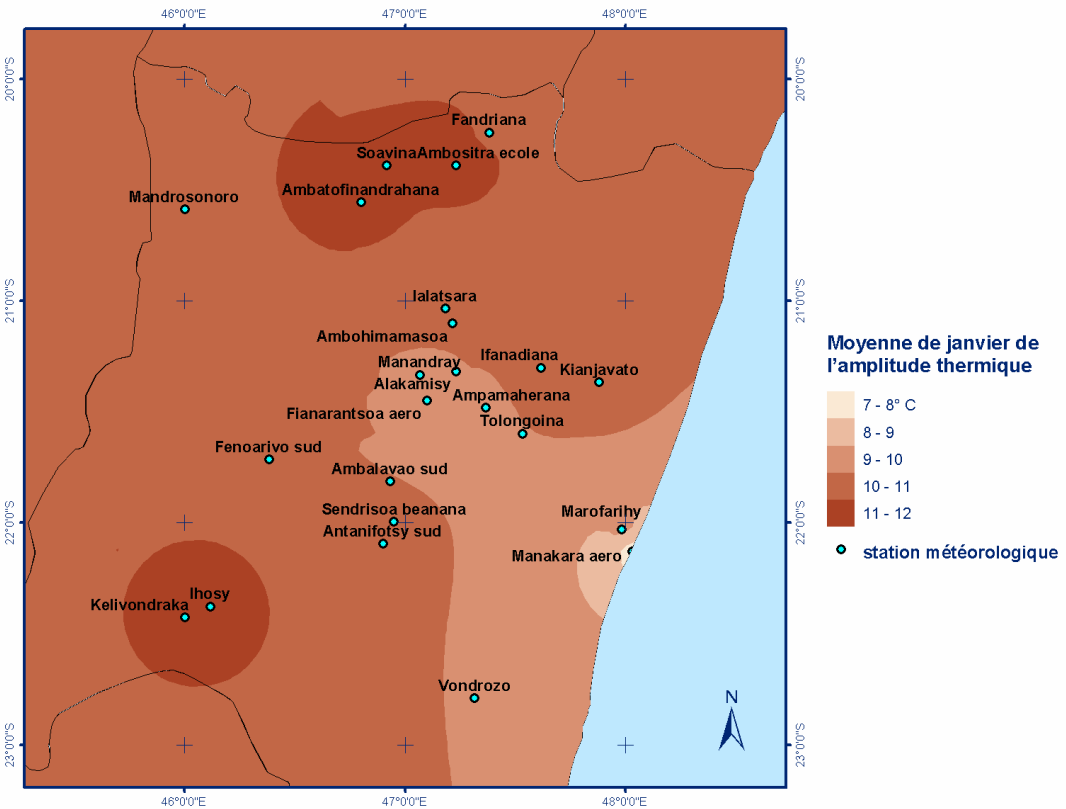


Illustration 19. Moyenne de janvier de l'amplitude thermique.

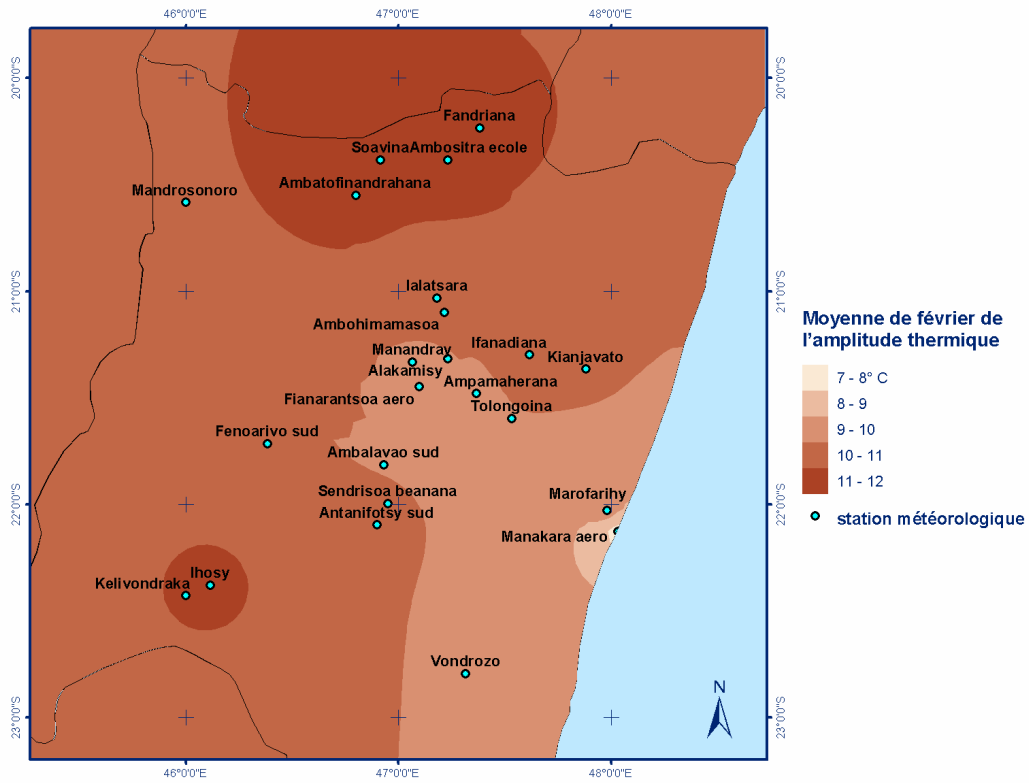


Illustration 20. Moyenne de février de l'amplitude thermique.

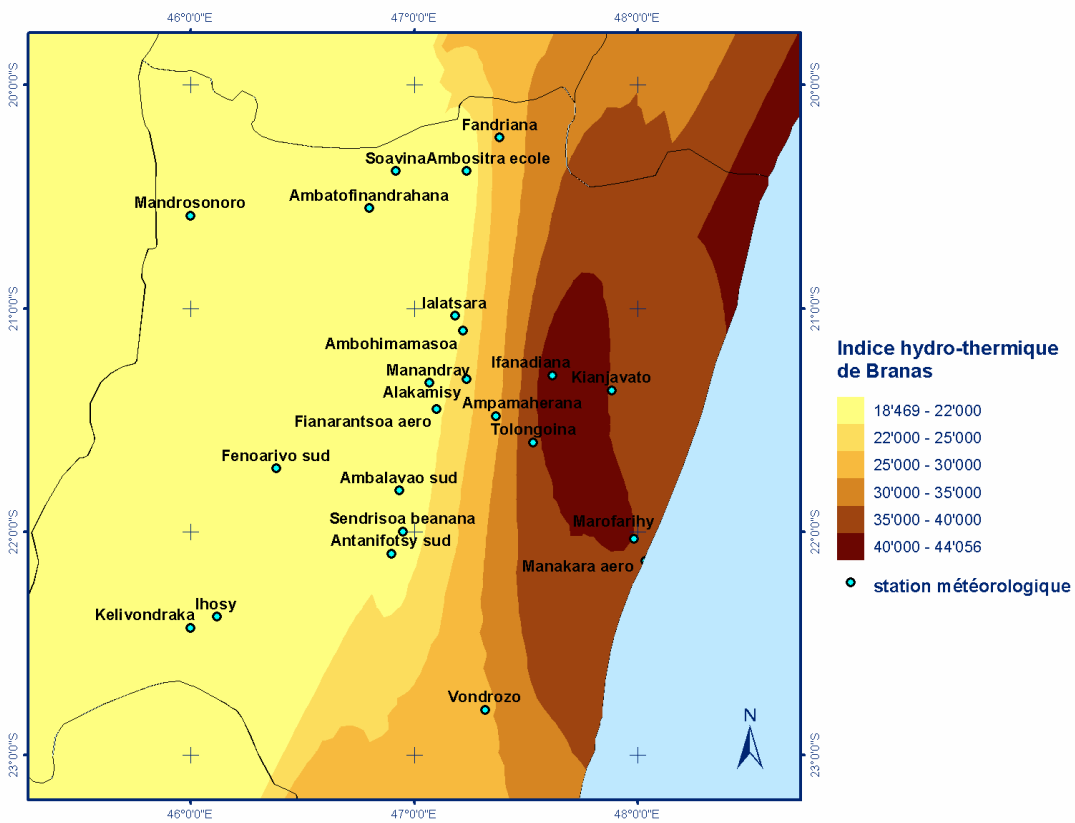


Illustration 21. Indice hydro-thermique de Branas.

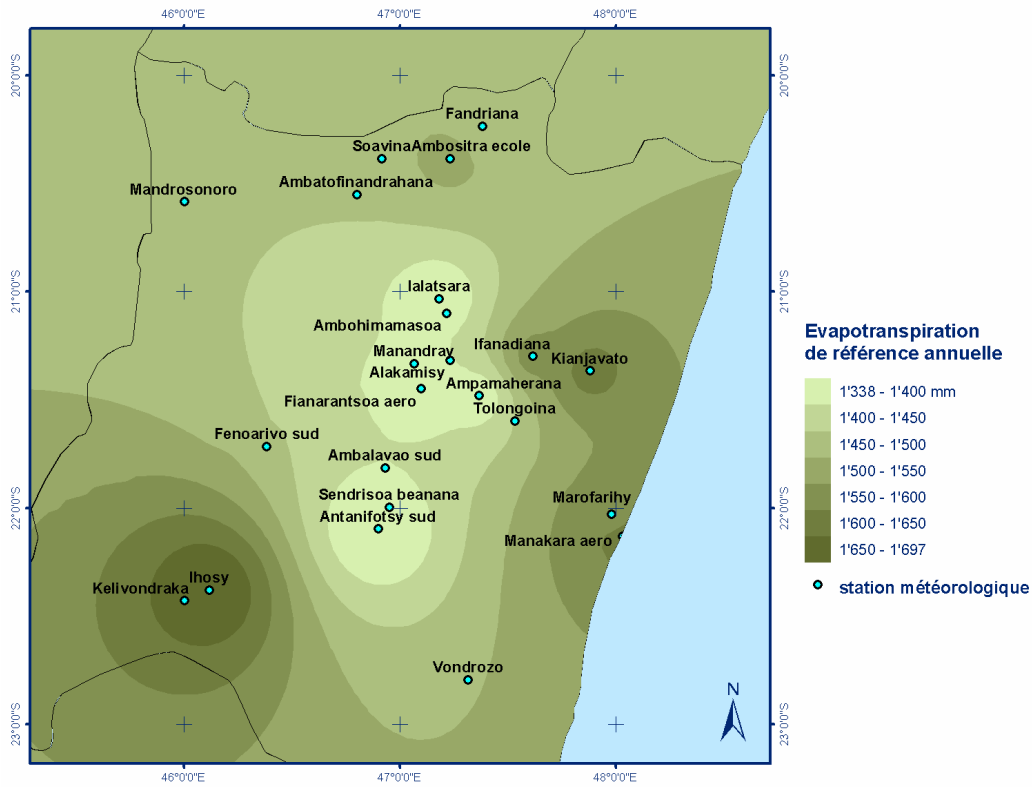


Illustration 22. Évapotranspiration de référence annuelle.

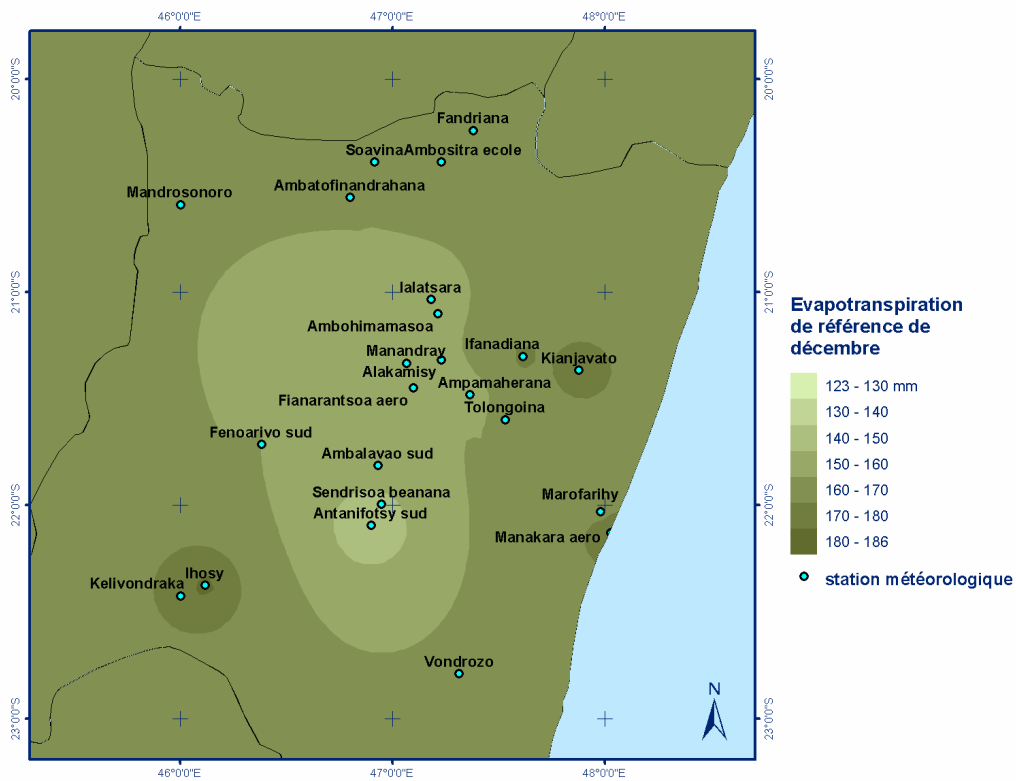


Illustration 23. Évapotranspiration de référence de décembre.

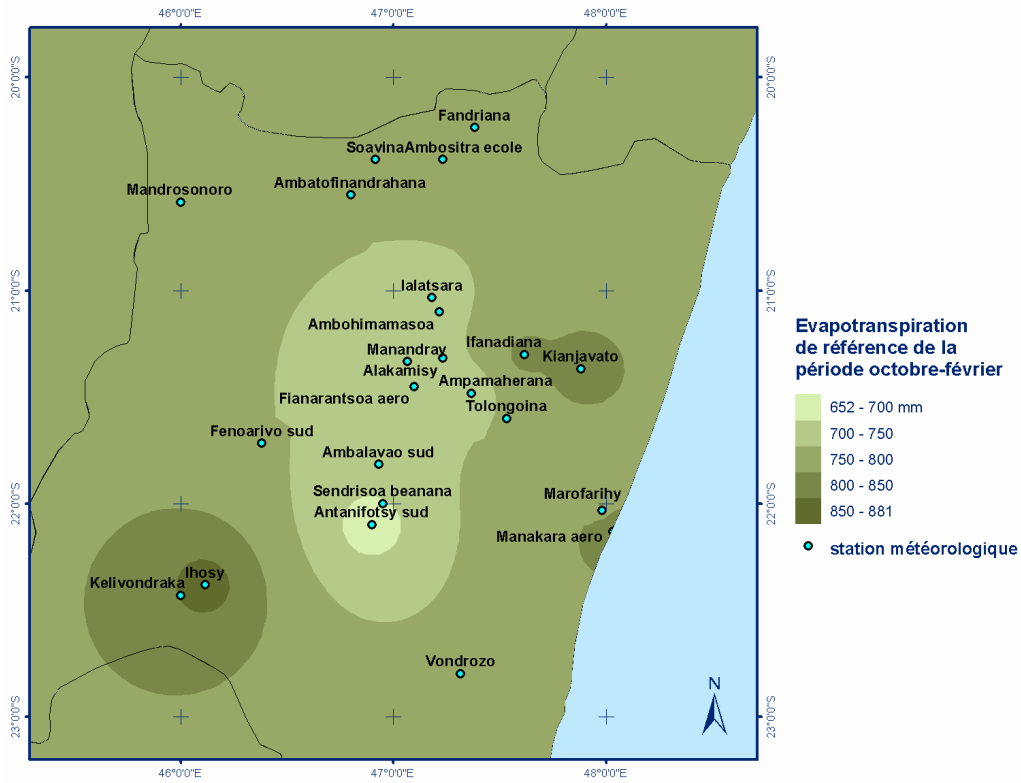


Illustration 24. Évapotranspiration de référence de la période octobre-février.

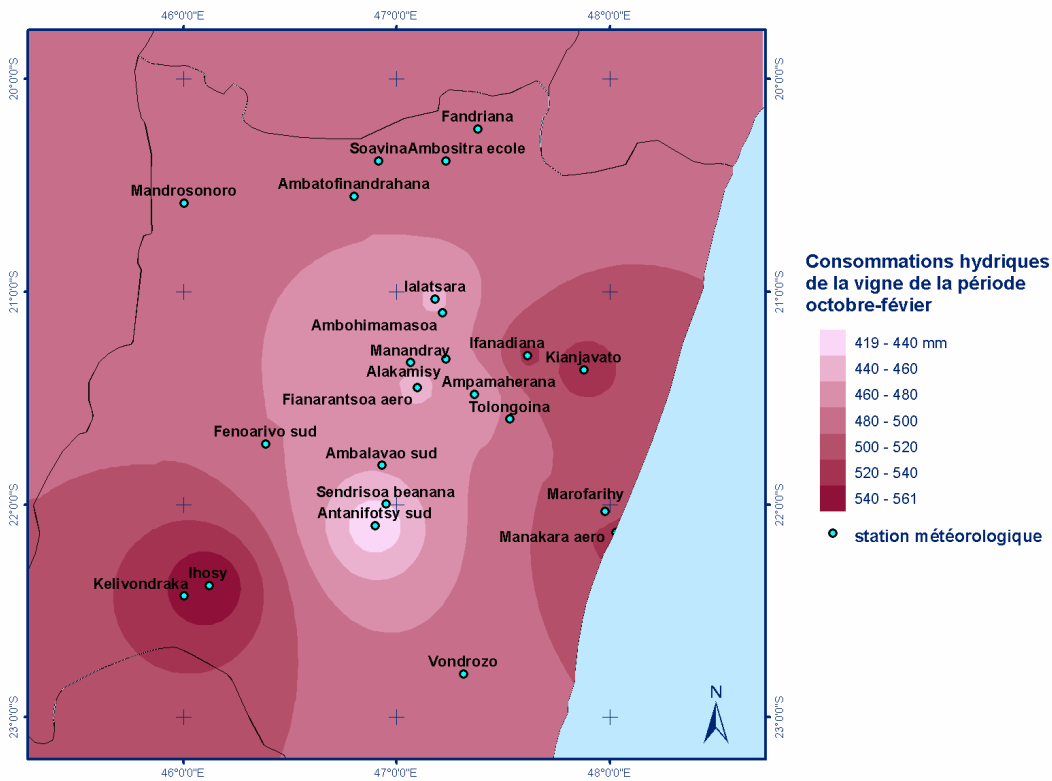


Illustration 25. Consommations hydriques de la vigne de la période octobre-février.

5 Conclusions et indications proposables

L'étude conduite a permis de réaliser une macro division des zones du territoire de la Province de Fianarantsoa, c'est à dire, de subdiviser ce terroir en zones homogènes du point de vue climatique et pédo-logique. Ce résultat est un préliminaire à n'importe quelle étude sur la gestion du territoire, sur le choix des cultures et des techniques de gestion agronomique.

A ce propos, la caractérisation des zones de l'île permettra à l'avenir la programmation de nouvelles implantations de vignoble mais aussi d'autres espèces végétales sur la base des exigences spécifiques au milieu, ainsi que de l'histoire et des traditions du Pays.

Le choix du cépage, facteur qui influe le plus sur la qualité du produit final, peut être abordé soit en faisant référence au marché extérieur soit en déterminant, entre les cépages actuellement cultivés, ceux qui sont plus dignes d'intérêt du point de vue qualitatif, en privilégiant, avant tout, les variétés traditionnelles dotées d'une haute faculté d'adaptation au milieu.

En outre, il est nécessaire de souligner que l'obtention d'une production vinicole de qualité résulte, non seulement, d'un choix variétal correct et d'une gestion agricole rationnelle du vignoble, mais aussi du choix des techniques adoptées dans la phase de vinification et de vieillissement.

Cet étude se limite à exprimer quelques considérations et suggestions sur les choix les plus opportuns à adopter pour obtenir d'une matière première de qualité optimale par rapport aux conditions du milieu .

Sur la base des informations acquises et analysées, on peut déduire que le territoire étudié, est caractérisé dans son ensemble par, d'un coté, une disposition thermique adaptée à l'emploi d'une large gamme de cépages, comme le démontre l'analyse des indices de Winkler et de Huglin. Ce qui exprime une potentialité énergétique du climat. Les potentialités climatiques exercent également une in-

fluence sur la qualité: ce que démontrent les valeurs des amplitudes thermiques des mois qui précèdent la vendange qui sont appropriées à l'obtention de productions de bonne qualité.

Pour ce qui concerne les dispositions thermiques, en définitive, on peut affirmer que ni le développement ni la maturation des fruits n'en sont conditionnés. Les problèmes liés à l'absence de froid hivernal pourraient se manifester surtout dans les zones plus chaudes. Pour palier à ce problème, la culture de la vigne pourrait s'élever en altitude, dans la limite du possible, ou bien, on devrait utiliser les techniques de défeuillage manuelle ou chimique qui peuvent permettre le cumul d'amidon dans les tissus de réserve.

En analysant conjointement les consommations hydriques et les apports de pluie, il est mis en évidence, en outre, comment ces derniers sont en moyenne sensiblement supérieurs aux consommations, en indiquant ainsi une condition de surplus hydrique et la non nécessité de l'irrigation si on fait abstraction des conditions particulières liées à la variabilité interannuelle.

L'analyse des précipitations montre, au contraire, combien l'abondance qui caractérise tout le cycle cultural et en particulier les mois où se vérifie la maturation, représente un facteur critique pour l'obtention de productions avec de bonnes caractéristiques qualitatives.

En effet, les conditions de surplus hydrique, surtout pendant les phases suivant la floraison sont préjudiciables à l'obtention de bons résultats qualitatifs parce qu'elles diluent la concentration du jus dans les graines.

En outre l'indice bioclimatique de Branas met en évidence un autre aspect lié aux précipitations abondantes: la potentialité infectieuse des maladies fongibles liées aux conditions d'humidité élevée, et en particulier de la Péronospora de la vigne. L'indice de Branas, comme on peut déduire de l'illustration relative, prend des valeurs remarquablement supérieures à celles qu'on enregistre normalement, par

exemple, dans les conditions climatiques européennes, d'où la haute virulence de l'agent pathogène.

Les caractéristiques pédologiques du territoire étudié, semblent bonnes en général, même si la carence en éléments nutritifs exige des interventions appropriées de fertilisation; les sols à pH particulièrement bas méritent une étude à part. Assez répandus dans les zones de culture, il s'agit d'un facteur qui pourrait se révéler limitant pour le bon rendement de la culture et demande, de toute façon, un choix de cépages ou l'adoption de porte-greffes tolérants l'acidité ou encore l'exécution d'interventions correctives («calcifications»).

Une fois les composantes du milieu examinées individuellement, le choix des cépages les plus appropriés devrait naître d'une synthèse des informations dans leur ensemble, car l'analyse de chaque grandeur et des indices dérivés porterait à des conclusions parfois différentes.

Dans l'ensemble, donc, en tenant compte des disponibilités climatiques et des caractéristiques pédologiques, ainsi que des facteurs limitables relatifs on peut exprimer les remarques suivantes:

L'emploi de cépages européens (*Vitis vinifera*), dotés de résistance réduite aux infections cryptogamiques est proposable seulement dans des situations circonscrites, c'est à dire là où un emploi constant et élevé de produits phytosanitaires est possible. Parmi les cépages plus plastiques (aussi dans leur gestion en cave) qui, dans différentes zones équatoriales du globe ont fourni des résultats intéressants, il y a les cépages internationaux comme le Cabernet Sauvignon, le Merlot et le Syrah.

Cependant, il faut remarquer que le coût des interventions de défense pourrait réduire notablement la rentabilité de la culture.

En définitive, donc, l'emploi des cépages européens exigerait une recherche attentive des couches du terroir, ce qui serait possible par une étude plus approfondie des caractéristiques pédoclimatiques.

La culture actuelle de la vigne à Madagascar est basée le plus souvent sur l'emploi d'hybrides comme le *Vitis vinifera* ou le *Vitis labrusca*. Ces hybrides se caractérisent par leur forte résistance aux agents pathogènes, avec une conséquente réduction des coûts pour le portegreffe et pour les interventions de défense à l'oidium, la Péronospora et la Anthracnose. Mais elles mettent en évidence leurs limites sur la qualité finale de la production avec un niveau réduit de sucres et une grande quantité de pectine.

La culture de la vigne à Madagascar pourrait pourtant continuer à se baser sur l'emploi de ces hybrides qui, traditionnellement, sont cultivés dans le pays, ainsi que sur de nouveaux cépages hybrides, récemment sélectionnés en Europe.

A ce propos on estime opportun de se rapporter à l'étude financée par la Commission Européenne concernant la sélection de nouvelles variétés interspécifiques, adaptées pour une production de vins de qualité.

Cette étude, conduit par un groupe d'experts provenant de 3 pays (France, Allemagne et Hongrie), a mis en évidence que, même si la plupart des variétés interspécifiques présente quelques inconvénients sérieux et produise vins de basse qualité, quelques une parmi elles peuvent produire des vins de bonne qualité, pourvu qu'elles soient plantées dans les zones appropriées, que les méthodes de culture soient appliquées de manière très rigoureuse et contrôlée, et que les processus de vinification et de vieillissement se déroulent correctement.

6 Bibliographie et Annexes

- B.D.P.A, Perspectives de developpement viticoles dans la vallee d'isandra, Bureau pour le developpement de la production agricole, B.D.P.A., Fianarantsoa, 1964.
- Bavaresco L. et al., Comportamento produttivo di cloni di chardonnay, Pinot nero e Sauvignon, L'informatore Agrario, n. 21, 2004
- Brancadoro L., Failla O., Dinamiche meteorologiche e climatiche e maturità fenologica dell'uva, Meteorologia clima e viticoltura, supplemento a L'informatore agrario, n.14, 2003.
- Charpentier H., Razanamparany C., et al, Projet de diffusion de systèmes de gestion agrobiologique des sols et des systèmes cultivés à Madagascar - rapport de campagne 2000/2001 et synthèse des 3 années du projet, Cirad, TAFA, FOFIFA, 2001.
- Collins F. C., A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. Proceedings of the Third International Conference Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. January 21-25, Santa Fe, New Mexico, USA, 1996.
- Commissione delle Comunità Europee, Relazione della commissione al Parlamento europeo e al Consiglio "sull'impiego di varietà interspecifiche di vite alla produzione di vini di qualità prodotti in regioni determinate", Bruxelles, COM 838, 2003.
- Costabile S., L'uso dello Strumento "geostatistical analyst" come supporto alle decisioni in campo ambientale, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Conferenza ESRI, Italia, 2003.
- Drew R., International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits, ISHS Acta Horticulturae, Drew, 2002.
- Eynard I., Dalmasso G., Viticoltura moderna. Hoepli, Milano, 1990.
- FAO Solis Bulletin 73, agro-ecological zoning, Roma, 1996
- Fregoni M. et al. Ricerca pluridisciplinare per la zonazione viticola della Val Tidone (Piacenza, Italia). Vignevisini, n. 11, 1992.
- Fregoni M., Viticoltura di qualità - Edizioni L'informatore Agrario s.r.l., 1999.
- Fregoni M., Adattamento della *vitis vinifera* ai climi tropicali ed equatoriali, Vignevisini L'informatore Agrario, n. 45, 2002.
- Fregoni M., Schuster D., Paoletti A., Terroir Zonazione Viticola trattato internazionale, Phytolime, Piacenza, 2003.
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A., Estimating Potential Evapotranspiration. Tech. Note, J. Irrig. Drain. Eng. 108(3):225-230, 1982.
- Howell G. S., Sustainable grape productivity and the growth-yield relationship, Honorary research lecture, ASEV Annual meeting, Reno, Nevada, 1999.
- Husson O., Andriamahanina M., Rakotondralambo T. et al., Diffusion of direct planting on permanent soil cover the direct seeding group of Madagascar (GSDM), Cirad, Antsirabe, 2003.
- Johnston K. et al., Using ArcGis Geostatistical Analyst, ESRI, USA, 2001.
- Joly D., Nilsen L., Fury R., Elvebakk A., Brossard T., Temperature interpolation at a large scale: test on a small area in Svalbard. International Journal of climatology, n.23, 2003.
- Loisy L., La viticulture malgache en 1961-1962, Istitut de recherches agronomiques a Madagascar, Division d'amelioration des plantes, Antananarivo, 1964.
- Mancini M., Orlandini S., Moriondo M., Maracchi G., Caratterizzazione bioclimatica di ecosistemi viticoli. Notiziario AIAM, n.1, 2001.
- Mancini M., Fattori climatici e meteorologici che condizionano la coltivazione della vite, Master in Meteorologia Applicata, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Firenze, 2003.
- Matassa, P., Di Lena B., Antenucci F., Gli indici bioclimatici applicati in un primo studio sulle potenzialità viticole dell'Abruzzo. Vignevisini, 3:37, 1992.
- Michellon R., Rakotondralambo P., et al. Cropping systems on permanent soil

- cover for Madagascar highlands, Cirad, Antsirabe, 2003.
- Minelli R., Aspetti metodologici del rilevamento pedologico per le zonazioni viticole, Zonazioni viticole, supplemento a L'informatore agrario, n.16, 1999.
- Minelli R., La grande variabilità dei suoli vitati, Zonazioni viticole, supplemento a L'informatore agrario, n.16, 1999.
- Palese A., sintesi da "Il marketing del vino in Europa: consumi, canali, distributori e imprenditori", Nomisma, aprile 2003 da L'informatore agrario, n.18, 2003.
- Papademetriou M.K., Dent F. J., Grape Production in the Asia-Pacific region, Expert consultation on Viticoltura in Asia and the Pacific, Bangkok, 2000.
- Pastore R., La zonazione per la promozione complessiva di un territorio vitato, Zonazioni viticole, supplemento a L'informatore agrario, n.16, 1999.
- Portolan V., Colombo M. et al., Variabilità climatiche in una valle alpina: applicazioni in agrometeorologia su Gis, Workshop "Geostatistica per lo studio e la gestione della variabilità" Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria, Febbraio 2000.
- Portolan V., Ciampa M., Grass utilization to realize spatial distribution of crops water requirements in an alpine valley, Geomatics Workbooks, Politecnico di Milano, n.1, 2000.
- Tomasi B., Ecologia viticola e qualificazione delle produzioni, Zonazioni viticole, supplemento a L'informatore agrario, n.16, 1999.
- Toto E., Dynamique de la materie organique par rapport a l'evolution actuelle des sols de la region d'Alakamisy Ambohimaha, Université de Fianarantsoa, Département des chimies, Fianarantsoa, 2002.
- U.S. Department of the Army. Country Studies Handbook Series, 2003.
- Vercesi A., Castagnoli A., Dosso P. Metodologie di caratterizzazione agrometeorologica del territorio. L'Informatore Agrario, n 14, 2003.



CENTRO OPERATIVO REGIONALE
viale Porto Torres, 119 - 07100 Sassari
tel. 079 258 600 fax 079 262 681
www.sar.sardegna.it sarinfo@sar.sardegna.it