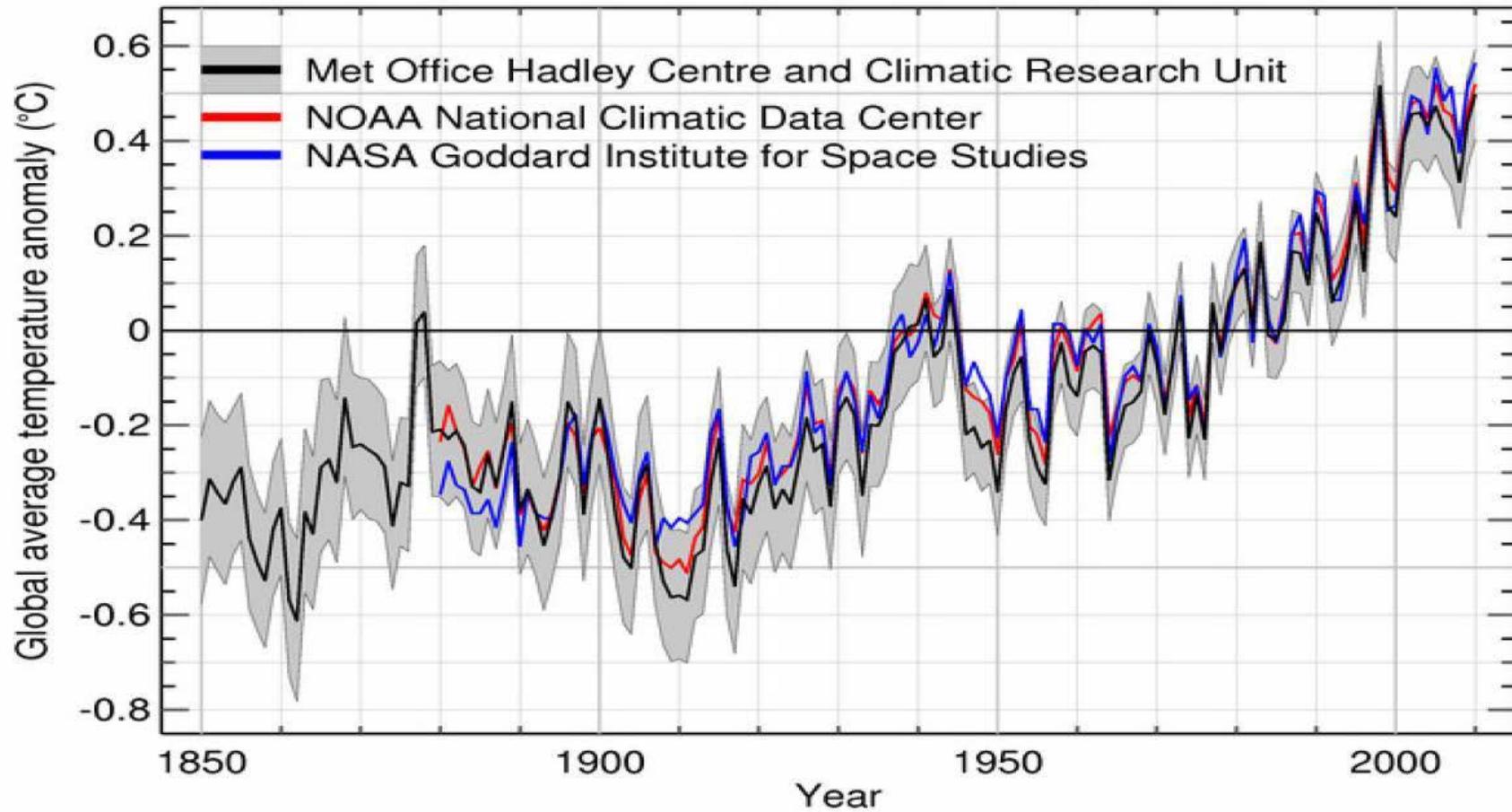


# Plantation d'Eucalyptus et Changement climatique

Source: T. Booth (conférence  
internationale coorganisée par CIRAD au  
Brésil en Nov. 2011)

# La température augmente au niveau mondial



# Evolution récente du climat de Madagascar

Réf: Le CC à Madagascar, Mars 2008,  
Direction Nationale de la Météorologie  
malagasy

# Température

- A Madagascar, le réchauffement a commencé dans la partie Sud dès 1950 et s'est étendu au Nord à partir de 1970.
- En l'an 2000, le niveau de réchauffement de la partie Sud de Madagascar est plus important que celui du Nord

# Précipitations

- Au cours des 100 dernières années, le niveau des précipitations à Madagascar a connu une grande variabilité.
- Pour la partie Sud, les précipitations augmentent avec la température. Dans la partie Nord, les précipitations augmentent quand la température diminue.
- Sur les Hautes Terres Centrales et la Côte Est, les précipitations totales des trimestres Juin – Juillet - Août et Septembre – Octobre – Novembre ont tendance à diminuer. Un allongement des séquences sèches est constaté.
- Sur la partie Ouest, l'intensité des précipitations ont tendance à augmenter

# Evolution des cyclones de forte intensité (vent > 250 km/h)

| Bassin                              | Périodes                            |  |                                     |  |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
|                                     | 1975-1989                           |  | 1990-2004                           |  |
|                                     | Nombre de cyclones de catégorie 4-5 | Pourcentage du nombre total de cyclones formés | Nombre de cyclones de catégorie 4-5 | Pourcentage du nombre total de cyclones formés |
| Sud Océan Indien (50-115°E, 5-20°S) | 23                                  | 18%  | 60                                  | 34%  |

Augmentation des cyclones de forte intensité depuis 1994

# Tendance du climat à Madagascar

Réf: Le CC à Madagascar, Mars 2008,  
Direction Nationale de la Météorologie  
malagasy

# Températures

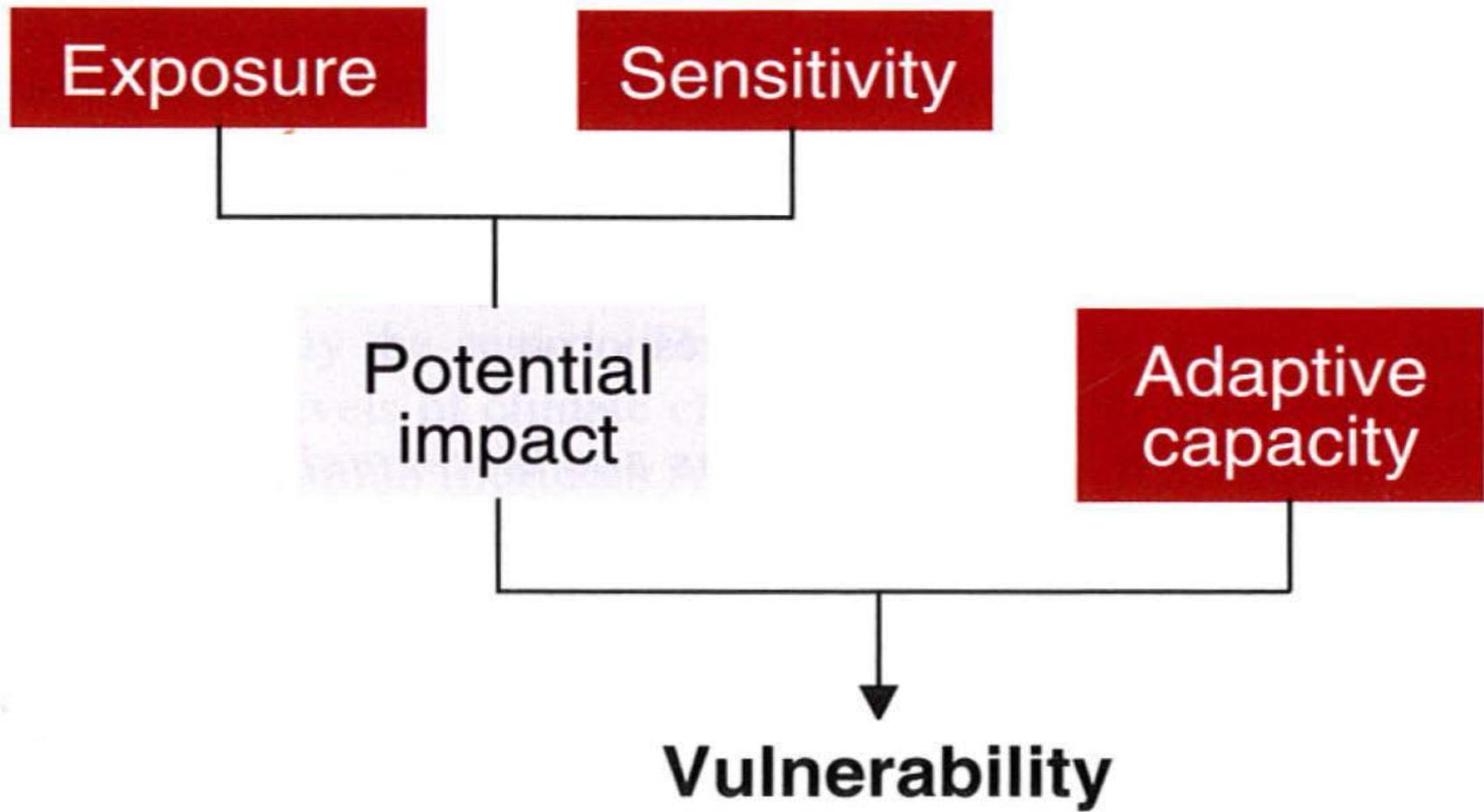
- Vers 2055, la température annuelle moyenne à Madagascar augmenterait de 1,1°C à 2,6°C par rapport à la moyenne de la période 1961-1990. Cette augmentation ne sera pas uniforme pour l'ensemble du pays.
- - hausse importante dans le Sud (de 1,6°C à 2,6°C)
- - augmentation plus faible le long des régions côtières (de 1,1°C à 1,8°C)
- - augmentations comprises entre de 1,3 et 2,5°C sur le reste de l'île

# Pluviométrie

- Vers 2055, les précipitations augmenteraient sur une grande partie de Madagascar à l'exception des régions extrême Sud-Est (diminution en Juin), Est (diminution en Juillet).
- - Janvier à Avril : augmentation généralisée
- - Mai à Juin : diminution dans la région Sud-Sud-Est et une augmentation sur le reste de l'île
- - Juillet à Septembre : augmentation dans les parties Nord, Nord-Ouest et Hautes Terres et une diminution dans les parties Est et Sud-Est
- - Octobre : diminution sur l'extrême Sud-Est et une augmentation sur le reste de l'île
- - Novembre à Décembre : augmentation généralisée

# Cyclones

- Vers la fin de ce XXI<sup>e</sup> siècle, on s'attend à ce que les cyclones, augmentent d'intensité, bien que leur fréquence annuelle ne devrait pas changer.
- Sur la base de 1000 cyclones simulés, il est probable que, dans l'avenir (vers 2100) :
- -la fréquence des cyclones passant par la Grande Île resterait inchangée
- - une augmentation de la fréquence de cyclones intenses serait attendue
- - de plus en plus de cyclones passeraient par la partie Nord
- Une étude est en cours pour confirmer ces résultats

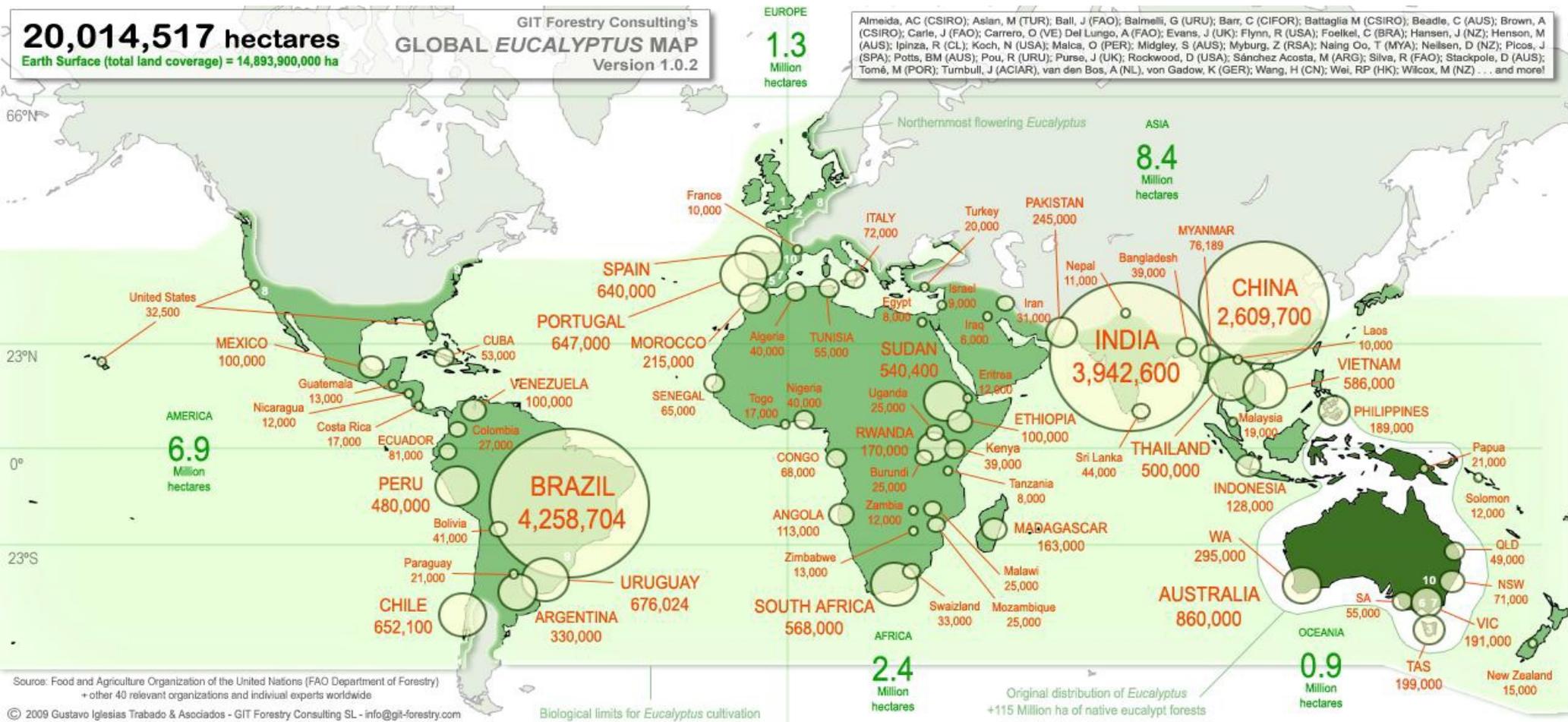


# Vulnérabilité au CC

La Vulnérabilité est fonction de

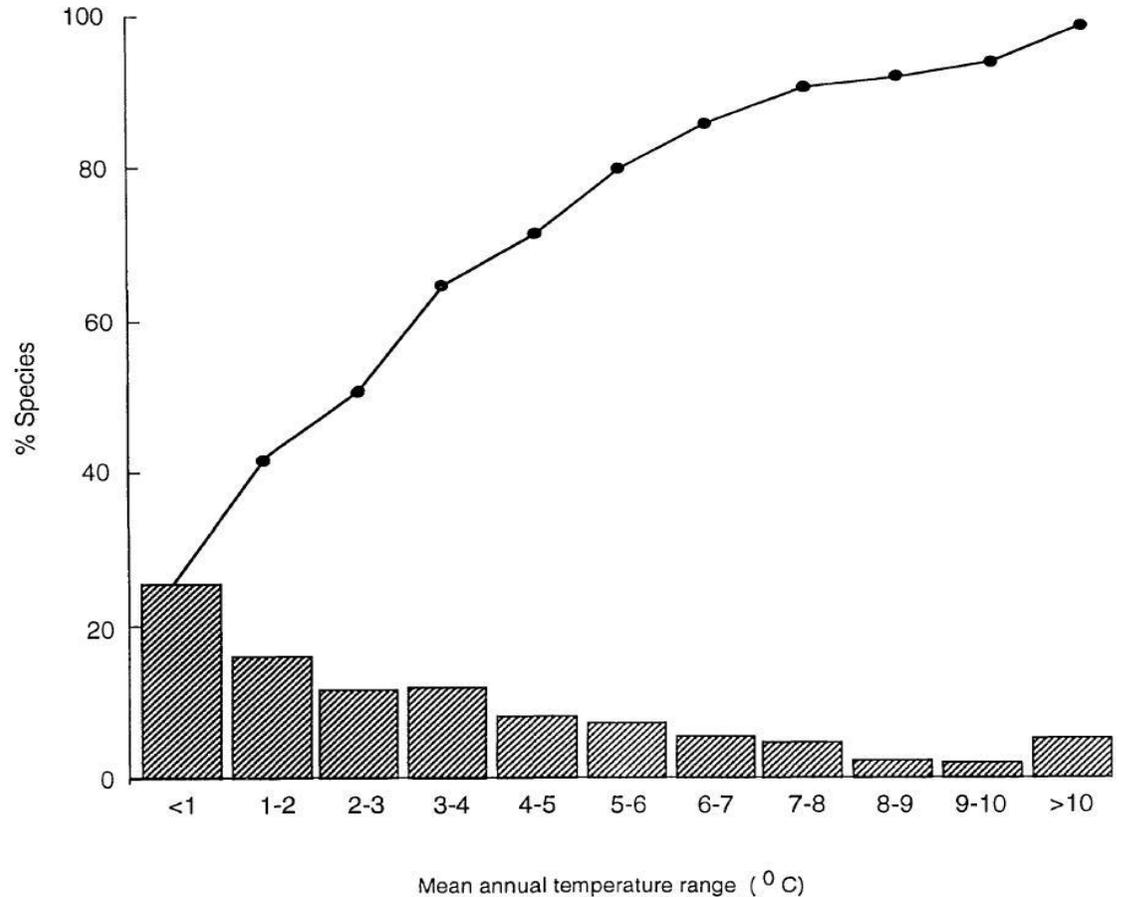
- L'exposition (exposure): caractère, magnitude et rythme du changement et de la variation climatique
- La sensibilité au changement
- La capacité d'adaptation ou résilience

# Exposition: Plantation d'Eucalyptus dans le Monde (2008): [www.git-forestry.com](http://www.git-forestry.com)



# SENSIBILITE: EUCALYPTUS et TEMPERATURES

- Beaucoup d'Eucalyptus présente une marge de distribution très étroite en fonction de la température
- 41% ne supportent pas des températures variant de plus de 2°C
- 25% ne supportent pas plus de 1°C



Sensibilité: Les espèces commerciales présentent une large tolérance climatique

Quelques espèces de plantation qui ont réussi:

- *E. camaldulensis* 18-28°C
- *E. globulus* 9-18°C
- *E. grandis* 14-25°C
- *E. tereticornis* 17-27°C

(Booth & Pryor 1991)

Amélioration génétique importante

Voir Improved climatic profiles (Jovanovic et Booth, 2002, CSIRO)

# Impacts

- Augmentation de la production avec faible augmentation des risques
  - *E. globulus* and *E. nitens* in *Tasmania*
  - *E. globulus* in *East Gippsland*
- Augmentation de la production et augmentation des risques ou incertitude élevée
  - Précipitations élevées(>1000mm) *E. globulus* in *WA*
  - *E. nitens* and *E. globulus* plantations in *Victoria*.
- Diminution de la production avec augmentation des risques ou incertitude élevées
  - Cas des extensions de plantations d'*E. Globulus* à l'est et au nord de l'Australie.
- Le même type d'analyse doit être fait au niveau mondial pour les autres plantations d'*Eucalyptus*

# Capacité d'adaptation (Résilience)

- Génotypes
- Espacement des plants
- Sélection des sites
- gestion des feux
- Gestion des pestes, maladies et mauvaises herbes
- Mise en place de stratégies
- Se baser beaucoup plus sur les données climatiques récentes

# Vulnérabilité au changement climatique

- Exposition: élevé  
beaucoup d'Eucalyptus cultivés  
Les pestes et maladies peuvent en bénéficier
- Sensibilité: moyenne  
L'amélioration génétique tend à diminuer l'adaptabilité  
La productivité peut augmenter dans certaines régions et diminuer dans d'autres
- Capacité d'adaptation: élevé  
Rotations courtes= adaptabilité élevée  
un nombre restreint d'espèces dominant les plantations  
Capacité de modifier la gestion  
capacité de modifier la génétique
- Vulnérabilité: moyenne

# Que doit-on savoir?

- Où sont plantés les génotypes particuliers?
- Quels sont les conditions climatiques sur ces sites?
- Où peut-on trouver les génotypes particuliers qui sont cultivés sous des conditions relativement extrêmes?
- Dans quelles régions se trouvent les futures conditions climatiques qui placeraient les génotypes particuliers en dehors de conditions favorables?
- Quelles sont les adaptations appropriées?

**Adaptation of Forests  
and People to  
Climate Change**  
– A Global Assessment  
Report

*Editors:*  
**Risto Seppälä**  
**Alexander Buck**  
**Pia Katila**



IUFRO World Series Volume 22

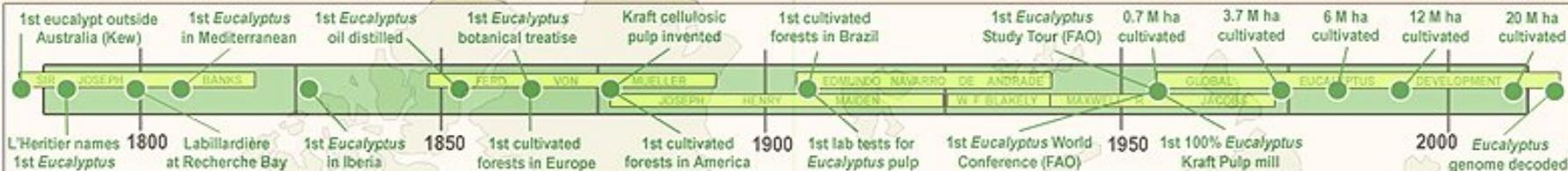


- Partager les informations sur le climat permettent de mettre en place des plantations d'Eucalyptus avec succès
- Base de données sur les Eucalyptus et cartographie

- Eucalypto logics: information resources on eucalyptus plantation around the world
- GIT forestry consulting's Eucalyptus weblog  
<http://git-forestry-blog.blogspot.com/>

# EUCALYPTUS CULTIVATION TIMELINE

# GLOBAL EUCALYPTUS MAP Version 1.0

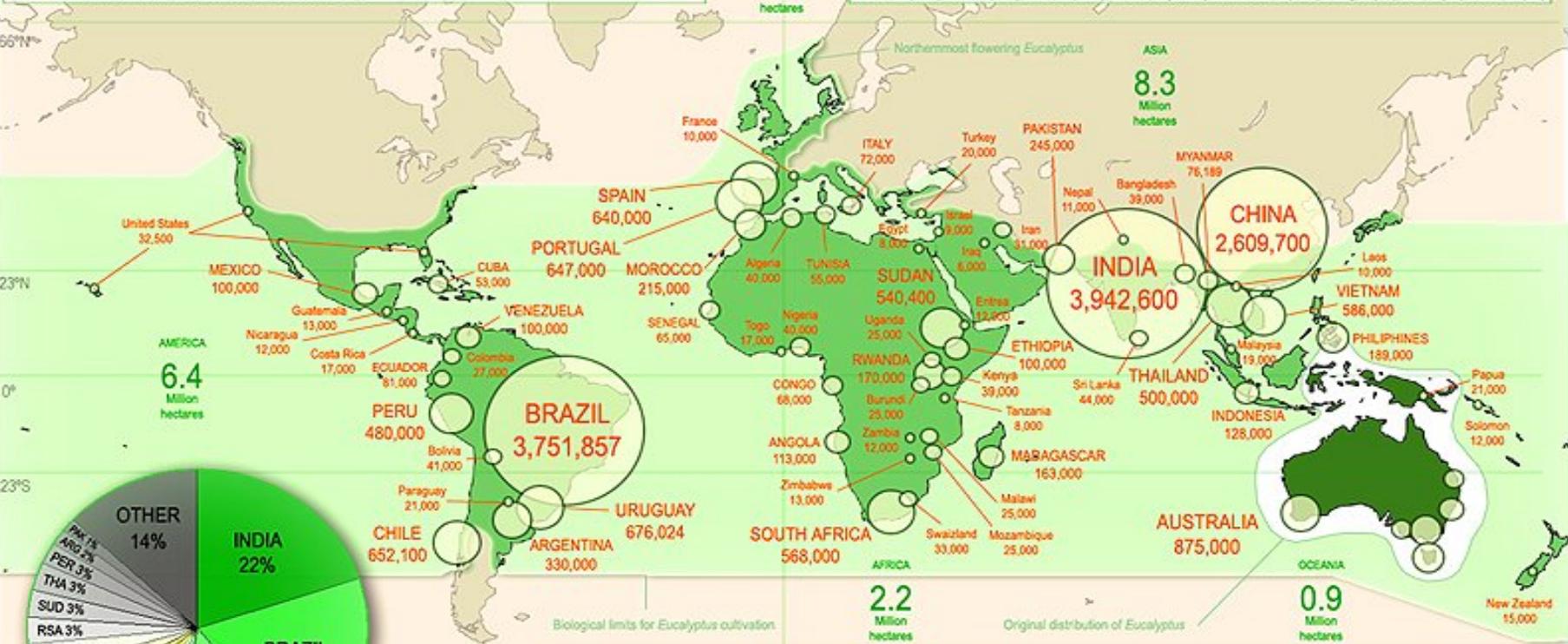


### REFERENCE AS

Iglesias Trabado, G. & Wiltermann, D. (2008) Eucalyptus universalis. Global cultivated eucalypt forests map 2008 In GIT Forestry Consulting's EUCALYPTOLOGICS: Information resources on Eucalyptus cultivation worldwide Retrieved from <http://www.git-forestry.com/> (Sep 1st 2008)

### ACKNOWLEDGEMENTS

Aster, M (TUR); Bat, J (FAG); Basmeli, G (URU); Barr, C (CFOR); Battaglia M (CSRG); Brown, A (CSRG); Carle, J (FAG); Carreri, O (VE); Dell Lunge, A (FAG); Evans, J (UK); Flynn, R (USA); Foelkel, C (BRA); Henson, M (AUS); Ipinza, R (CL); Koch, N (USA); Malca, O (PER); Midgley, S (ACIAR); Myburg, Z (RSA); Naing Oo, T (MYA); Ploos, J (SPA); Ploz, R (URU); Purne, J (UR); Rockwood, D (USA); Sánchez Acosta, M (ARG); Silva, R (FAG); Tomé, M (POR); Tumbul, J (ACIAR); von Gadow, K (GER); Wang, H (CN); Wol, R (HK); Wilcox, M (NZ)



**19,609,670 hectares**  
 Earth Surface (total land coverage) = 14,893,900,000 ha

Total area covered by Eucalyptus plantations worldwide (actual scale)  
**LESS THAN 0.5%**

- + 1,000,000 ha in 3 countries
- + 500,000 ha in 12 countries
- + 100,000 ha in 23 countries
- + 50,000 ha in 31 countries
- + 5,000 ha in 65 countries
- + 1,000 ha in 95 countries

## EUCALYPTUS UNIVERSALIS

### CULTIVATED EUCALYPT FORESTS GLOBAL MAP 2008

GIT Forestry Consulting · Eucalyptologies

Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO Department of Forestry) + other 35 relevant organizations and individual experts worldwide



[www.git-forestry.com](http://www.git-forestry.com)



# CAUSES ENTOMOLOGIQUES ET CRYPTOLOGAMIQUES DU DEPERISSEMENT D'*Eucalyptus camaldulensis* (Sur le Haut plateau malgache)



*Latimeria chalumnae*



Présenté par: Dr. Daniel RAKOTONDRAVONY et Onja  
Natacha Prisca RAHARINIRINA

# Plan

- INTRODUCTION
- MILIEU D'ETUDE
- METHODES D'ETUDE
  - Présentation d'*Eucalyptus camaldulensis*
  - Méthodes d'étude
- RESULTATS ET INTERPRETIIONS
  - Inventaire entomofaunique
  - Dénombrement de pieds d'*Eucalyptus* infectés et non infectés
- DISCUSSIONS
- CONCLUSION et RECOMMANDATIONS



# Introduction

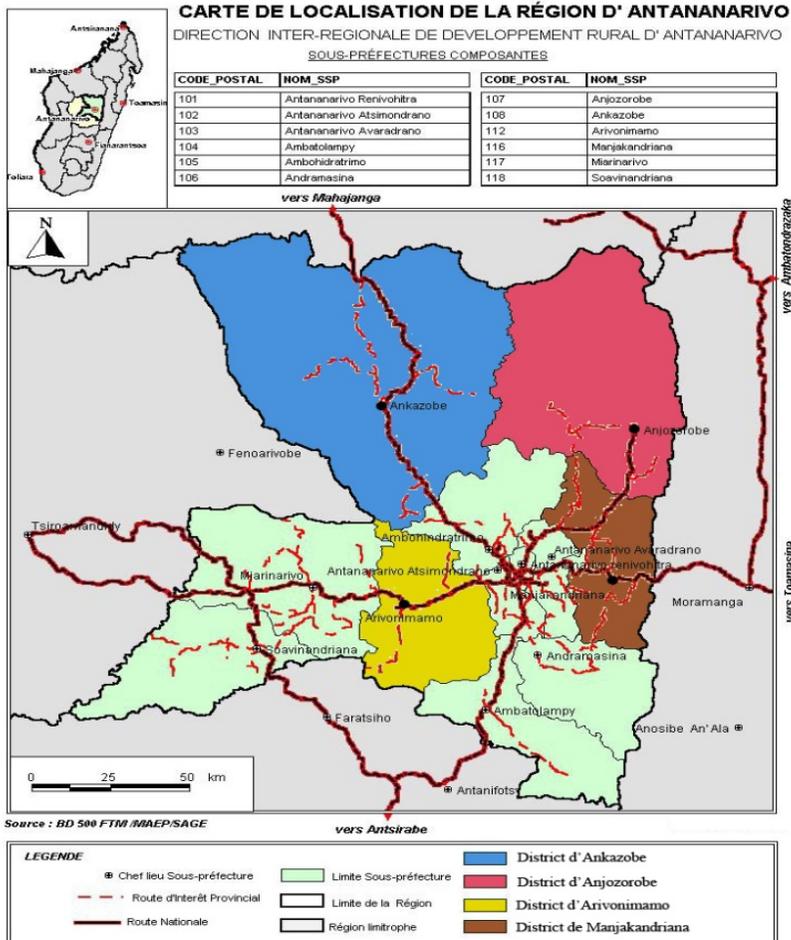
- Bois : 80 à 90 % des besoins en différentes ressources de la population malgache.
- Reboisement d'*Eucalyptus* : importance dans l'utilisation durable des autres ressources naturelles.
- 110 espèces d'*Eucalyptus* (Honoré Randrianjafy, 1999) .
- *Eucalyptus camaldulensis* : espèce souffrant d'un dépérissement malgré son importance sur les plans économique et écologique.
- Cause de ce dégât : attaque d'une espèce de psylle ravageur (*Glycapsis brimblecombei*), selon les chercheurs étrangers.

# Introduction

- Apparition de ce dépérissement au cour de ces trois années à Madagascar : parties aériennes de la plante hôte,
  
- Hypothèse :  
« Identifier si ce dépérissement est également d'origine entomologique ou bien d'origine cryptogamique ou les deux à la fois ou même d'autres facteurs».
  
- Objectifs spécifiques
  - Inventorier toutes les principales espèces entomofauniques ;
  - Chercher et vérifier le genre d'Insecte le plus redoutable et responsable de cette menace;
  - Proposer aussi des méthodes de lutte.

# I. Milieu d'étude

## I.1. Région d'Analamanga



- Zones les plus touchées : Arivonimamo, Ankazobe et Betafo
- Zones temoins : Manjakandriana et Anjozorobe

- Type de climat : tropical humide et frais
- Type de sol : en surface, ferrallitique en phase érodée, en profondeur, hydromorphe tourbeux

- Type de climat : tropical d'altitude
- Type de sol : ferrallitique moins fertile

# I. Milieu d'étude

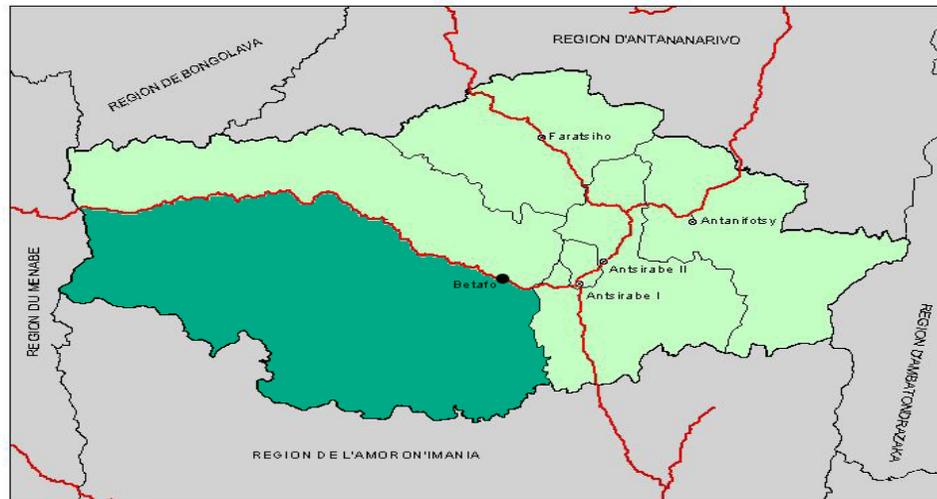
## I.2. Région de Vakinakaratra

### CARTE DE LOCALISATION DE LA REGION DE VAKINAKARATRA



DIRECTION REGIONALE de DEVELOPPEMENT RURAL DE VAKINAKARATRA

| Code postal | Nom SSP      |
|-------------|--------------|
| 114         | Faratsiho    |
| 113         | Betafo       |
| 109         | Antanifotsy  |
| 111         | Antsirabe II |
| 110         | Antsirabe I  |



Source: BD 500 FTM / MAEP / SAGE

Edition: Mars 2003

**LEGENDE :**

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| ⊙ | Chef lieu de Sous préfecture     |
| — | Route Nationale                  |
| □ | Délimitation des Sous préfecture |
| ■ | Région du Vakinakaratra          |
| ■ | Régions limitrophes              |
| ■ | District de Betafo               |

➤ Type de sol : volcanique

➤ Type de climat : tropicale d'altitude

# II. Matériel biologique et méthodes

## II.1. Matériel biologique

### II.1.1. Position taxonomique

|                  |                        |
|------------------|------------------------|
| Règne            | : VEGETAL              |
| Embranchement    | : ANGIOSPERMES         |
| Classe           | : DICOTYLEDONES        |
| Ordre            | : MYRTALES             |
| Famille          | : MYRTACAE             |
| Section          | : EXERTARIA            |
| Genre            | : <i>Eucalyptus</i>    |
| Espèce           | : <i>camaldulensis</i> |
| Noms usuels      | : Eucalyptus rouge,    |
| Nom vernaculaire | : kininina lahy        |



**(Hill & Johnson , 1995)**

# II. Matériel biologique et méthodes

## II.1. Matériel biologique

### II.1.2. Morphologie externe et caractéristiques

- Taille : moyenne, parfois grande (20 m à 45m de haut) ;
- Ecorce : lisse, de couleur blanche, grise, jaune-vert, gris-vert ou gris rosé ;
- Feuilles : alternes, simples, et ovales ou largement lancéolées, de couleur verte ;
- Inflorescences : ombelliforme, composés de 4 à 9 boutons floraux.



# II. Matériel biologique et méthodes

## II.1. Matériel biologique

### II.1.3. Utilisation

Cette espèce d'*Eucalyptus* couvre une partie importante des besoins de l'homme. En effet, il est considéré comme :

- **Bois de trituration** : présence caractéristiques technologiques intéressantes pour la production de pâte à papier (E. Campinhos, 1999) ;
- **Bois d'énergie et bois de service** : production du charbon, du bois à brûler (Bouvet, 1999) et aussi bois de construction (maison, pont,..) (Turnbull, 1991) ;
- **Plante aromatique** : existence de poches sécrétrices d' *huile essentielle* au niveau de ses feuilles.



# II. Matériel biologique et méthodes

## II.1. Matériel biologique

### II.1.3. Utilisation

A Madagascar, *Eucalyptus camaldulensis* joue un rôle indéniable dans l'approvisionnement en charbon de bois, en bois de chauffe, en bois de service (construction de la maison) et en bois d'œuvre (construction des ouvrages), il aide également à la production de miel.



### II.1.4. Importances écologiques

- Les plantations d'*Eucalyptus camaldulensis* participent à la reforestation (Bertrand, 1999) ;
- Elles contribuent aussi à la lutte antiérosive, permettent d'éviter l'ensablement des rizières, de stabiliser les talus le long des routes (Wells et Andriamihaja, 1997) .



# II. Matériel biologique et méthodes

## II.2. Méthodes

### II.2.1. Inventaire de l'entomofaune (Avril - juillet 2012)

- **Battage** : pour la récolte des Insectes vivant sur les feuillages et sur les branches d'arbres d'*Eucalyptus*
- **Capture à la main** : pour les Insectes ailés
- **Méthode de conservation** : alcool à 96 %



# II. Matériel biologique et méthodes

## II.2. Méthodes

### II.2.2. Observation floristique

Observation directe sur tous les appareils végétatifs et reproducteurs

30 pieds d'*Eucalyptus* choisis au hasard

03 parcelles par site et 03 sites par zone

II.2.3. Laboratoire (mi juillet à mi aout) : triage, comptage et identification.

### II.2.4 Traitement et analyse des données

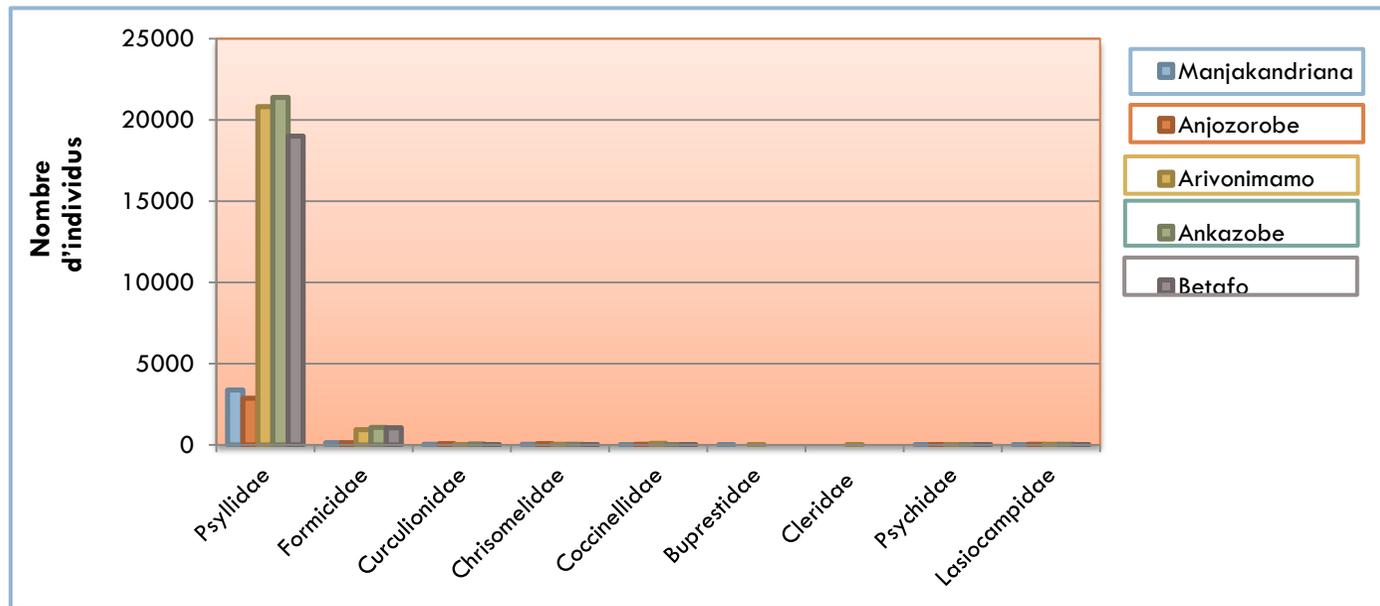
- Paramètres écologiques : richesse spécifique totale et abondance relative.
- Dénombrement des plants infectés ;
- Test de corrélation de Pearson et régression linéaire



# III. Résultats et interprétations

## III.1. Inventaire de l'entomofaune

### III.1.1. Nombre d'individus par famille d'espèces d'insectes récoltées dans les cinq zones d'études



|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| Famille des Psyllidae  | : très nombreuses         |
| Famille des Formicidae | : moins nombreuse         |
| Autres familles        | : faiblement représentées |

# Photos de *Glycaplis brimblecombei*



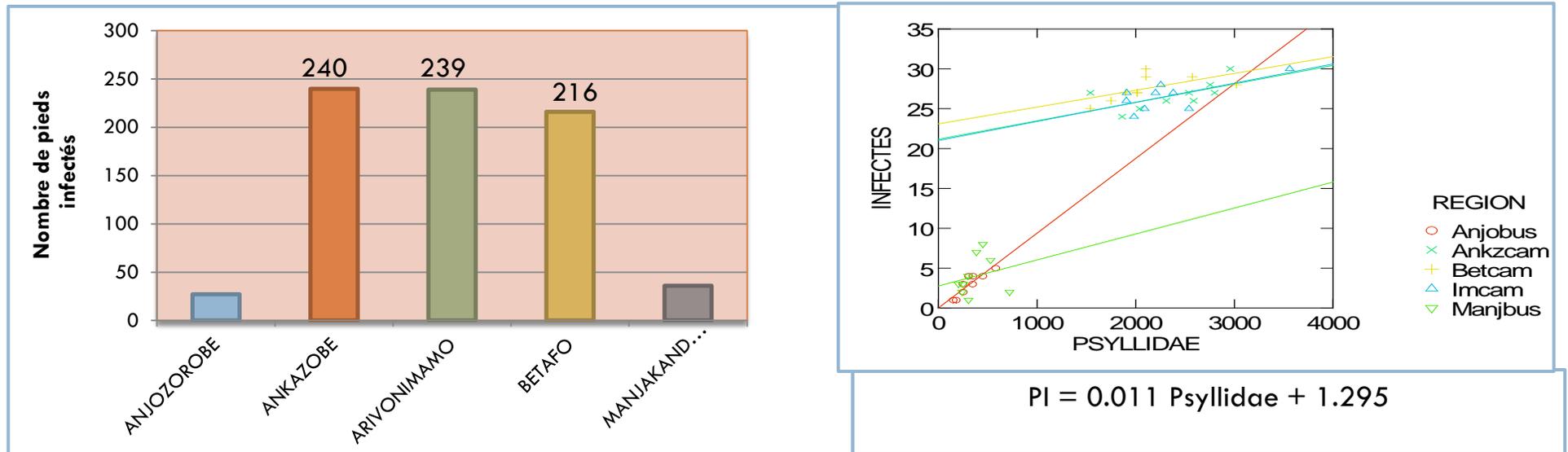
# Photos de *Ctenaytaina* sp.



# III. Résultats et interprétations

## III.2. Observation floristique

### III.2.1. Nombre total de pieds d'Eucalyptus infectés



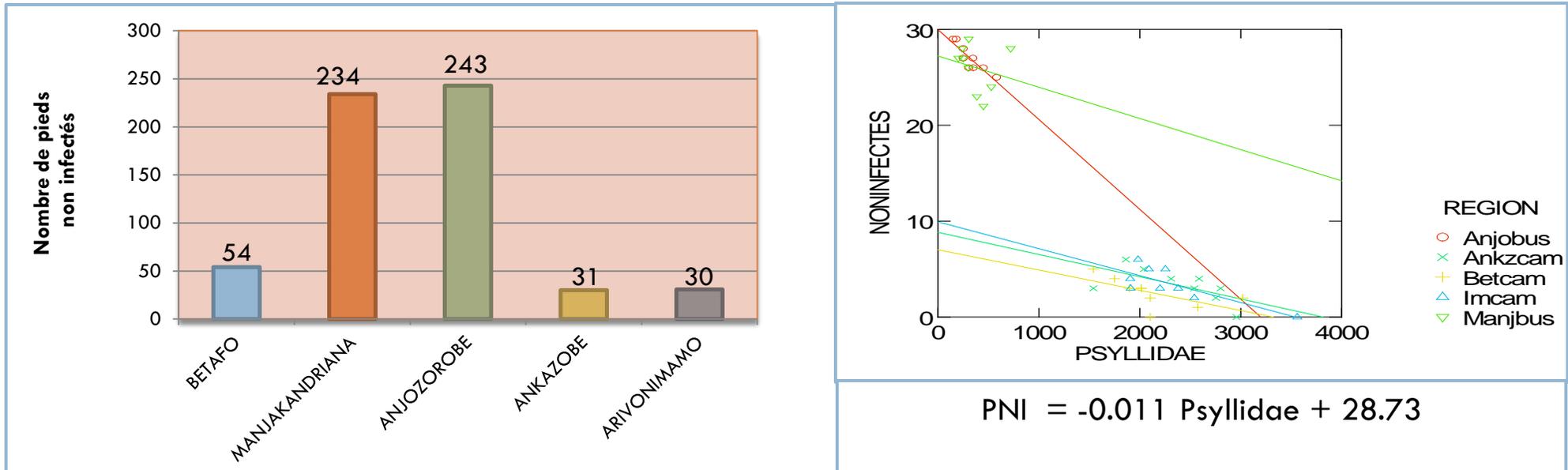
### Analyse statistique : régression linéaire

- Droite croissante → corrélation positive entre l'abondance des Psyllidae et le nombre de pieds malades

# III. Résultats et interprétations

## III.2. Observation floristique

### III.2.2. Nombre total de pieds d'Eucalyptus non infectés



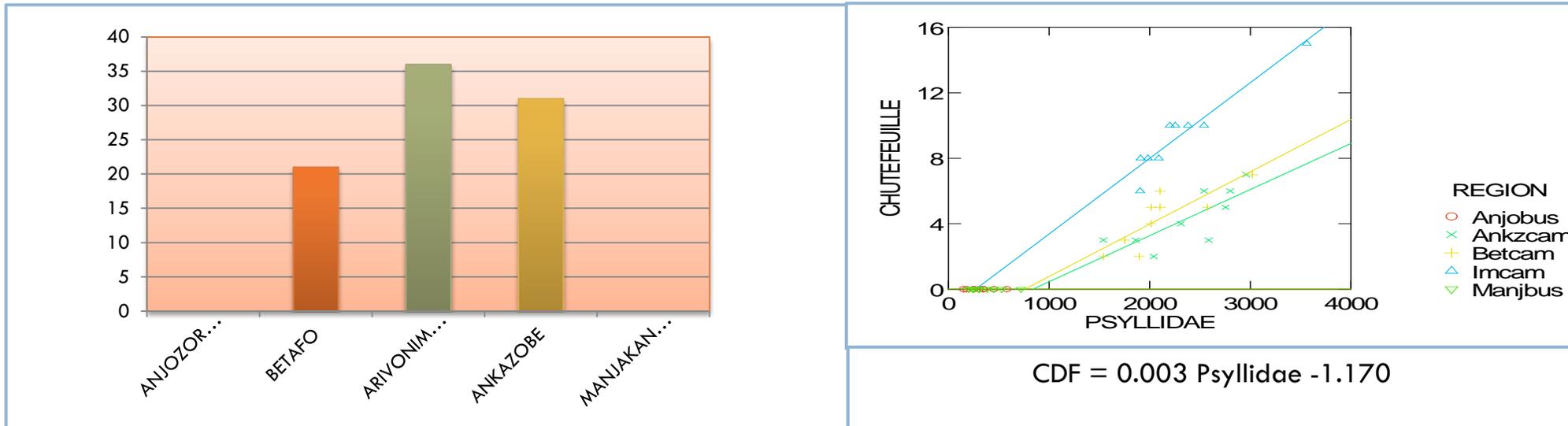
### Analyse statistique : régression linéaire

- Droite décroissante → corrélation négative entre l'abondance des Psyllidae et le nombre de pieds sains (PNI)

# III. Résultats et interprétations

## III.2. Observation floristique

### III.2.2. Nombre total de pieds d'Eucalyptus subissant une chute prématurée de feuilles



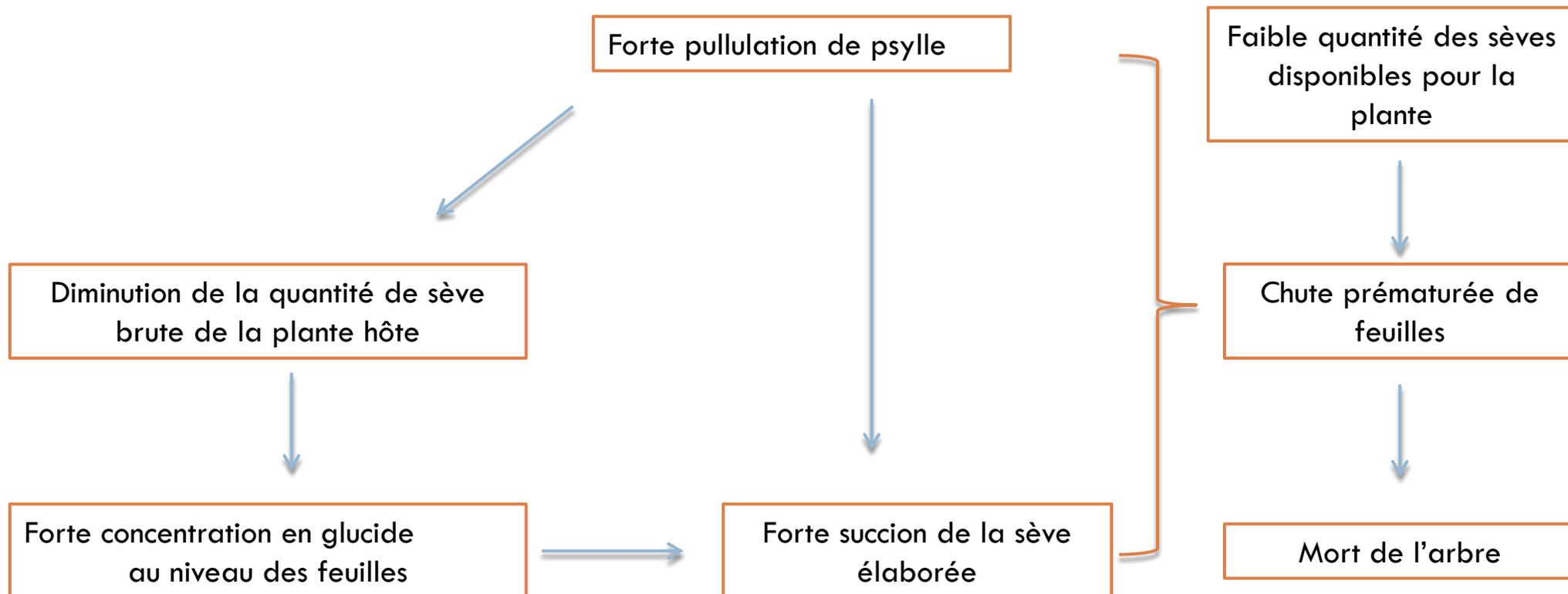
#### Analyse statistique : régression linéaire

- Droite croissante → corrélation positive entre l'abondance des Psyllidae et la chute prématurée de feuilles

# IV. Discussion

## IV.1. Facteurs causant le dépérissement d'*Eucalyptus camaldulensis*

### IV.1.1. Sur la cause entomologique



# IV. Discussion

## IV.1. Facteurs causant le dépérissement d'*Eucalyptus camaldulensis*

### IV.1.2. Cause cryptogamique

- Ensemble de champignons noirs se développant, vit et se nourrit sur le miellat
- ↓
- Diminution de la photosynthèse par abaissement de la pénétration de la lumière
- ↓
- Diminution de la quantité des substance organique synthétisée et d'énergie libérée, c'est-à-dire la force et la vitalité de la plante.

# IV. Discussion

## IV.2. Relation entre l'abondance des Psyllidae , des Formicidae et le taux d'infection

Pieds infectés = apparition de fumagine au niveau des feuilles

- Régulation physiologique : prélèvement de la sève élaborée (plus riche en sucre) → un rejet de ce sucre en excès sous forme de miellat par le psylle
- Miellat : source de nourriture pour la fumagine et les fourmis ;
- Apparition d'infection sur les feuilles d'Eucalyptus.



Branche d'*Eucalyptus* infectés

# IV. Discussion

## IV.3.1. Forte pullulation de *Glycopsis brimblecombei*

- ❖ Eucalyptus a une Faible teneur en substance répulsive pour cet Insecte
- ❖ *G. brimblecombei* est monophage stricte



Feuille d'*E. camaldulensis* infestés

## IV.3.2. Taux de dépérissement

- ❖ Pourcentage de pieds d'Eucalyptus malades et mourants
- ❖ Forte relation avec infection
- ❖ Forte relation avec les facteurs édaphique et climatique



Pieds d' *E. camaldulensis* qui se dépérit

# IV. Discussion

## Iv.4. Proposition de méthodes de lutte

- Faire des élevages des prédateurs monophages psyllophages
- Introduction ou multiplication des espèces parasitoïdes : comme les parasites *Psyllaephagus pilosus* (Bovin, 2001)
- Application d'une entomopathogène



Cleridae



Tachinidae



Microhyménoptère



Coccinellidae

# Recommandations



Faire une étude sur l'analyse nutritionnelle des feuilles d'Eucalyptus afin de mieux expliquer le choix alimentaire chez *Glycopsis brimblecombei* et *Ctenarytaina* sp.



Faire une étude plus approfondie sur la microbiologie afin de vérifier la transmission ou non d'agent pathogène par ces psylles et de trouver des microorganismes parasites de ces bioagresseurs



Faire une étude sur la pédologie afin de savoir le type de sol assurant une meilleure croissance sur la plante

# CONCLUSION

---

- Dépérissement d'*Eucalyptus camaldulensis* : cause entomologique et cryptogamique
  
- Conditions peuvent intervenir dans les causes de ce dépérissement :
  - Condition climatique
  - Condition édaphique



Merçi de votre aimable attention !!!

# *Eucalyptus robusta*

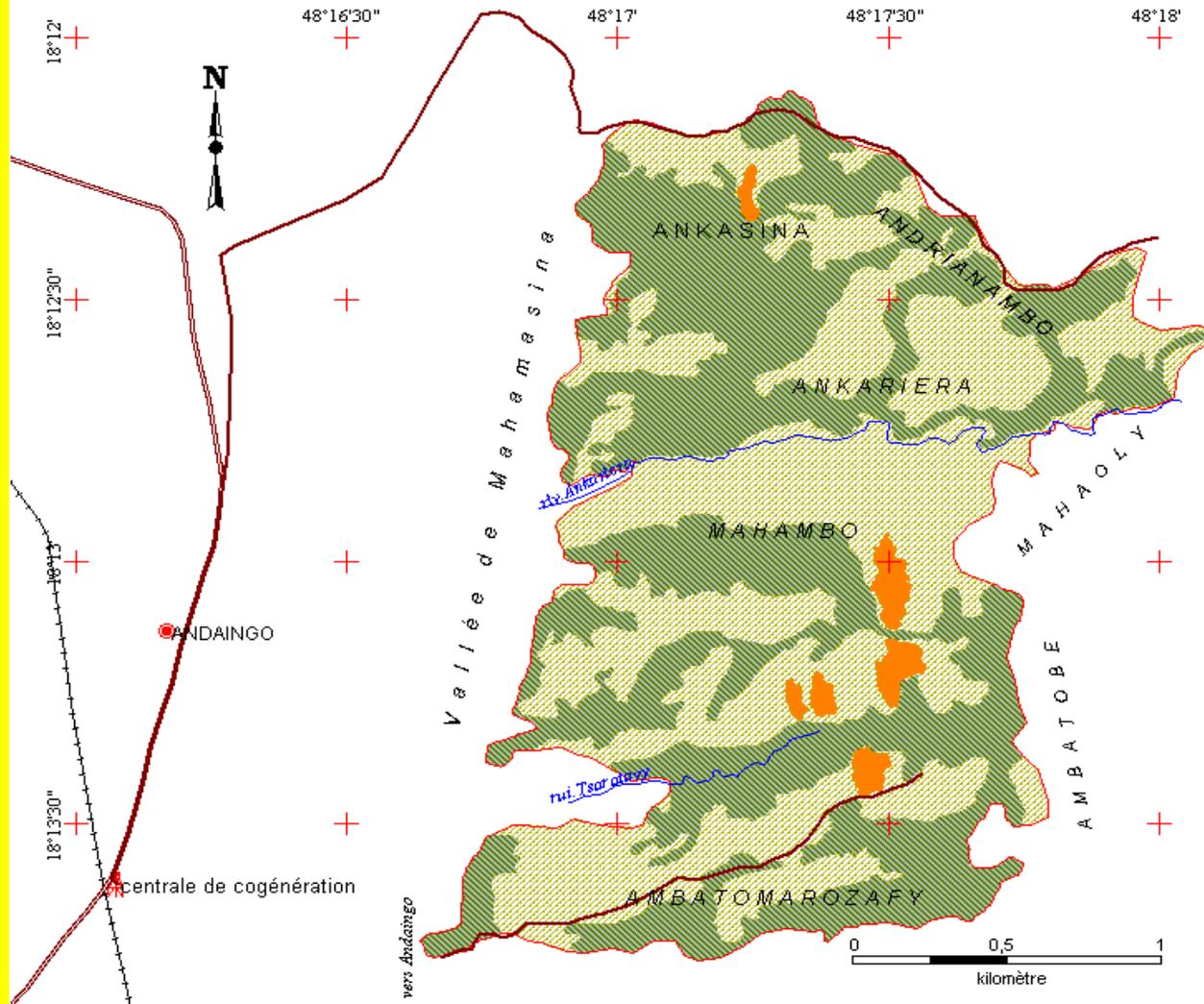
La « productivité » en biomasse ligneuse  
et son utilisation pour l'aménagement des taillis



Quelle définition donner à la « **productivité** des taillis »?

- Considérons un massif de taillis d'eucalyptus : Il doit fournir « durablement » du bois énergie pour assurer le rapport financier « soutenu » à son propriétaire et surtout les besoins du consommateur (exemple : charbon de bois sorti de la meule, livré à la ménagère urbaine)
- Mais le massif en question serait comme « la plus belle ..... »

# Introduction : La productivité forestière et celle des taillis



- Le taillis d'*Eucalyptus robusta* rejette de souche « **durablement** » : En Inde, on exploite des taillis d'eucalyptus depuis près de 2 siècles, à Madagascar, même pas 1 siècle.
- « **durablement** » : mais en fonction des objectifs de production du bois des taillis et de la productivité de ces taillis à exploiter.
- « **durablement** » : mais selon les normes respectant la définition de la productivité et les conditions pratiques qui l'assurent au mieux.

## La « productivité des taillis » :

- En un lieu donné, la croissance forestière dépend essentiellement de la combinaison entre les variables climatiques et les variables physiques du milieu.

- ASSMAN (depuis 1954) disait que : la production en volume des peuplements forestiers dépend seule de « la hauteur dominante de ces peuplements » (la hauteur dominante étant la hauteur moyenne de la plus grosse tige et donc du plus gros rejet dans le cas des taillis).

- Entre 1940 et 1960, Manjakandriana et Moramanga, avec leurs taillis d'*E. robusta*, fournissaient au moins la moitié des besoins en bois énergie (bois de chauffe et charbon de bois) à la capitale (RAMAMONJISOA, 1991)
- A partir de 2008, il a été question de mobiliser annuellement plus de 20 **hectares** de taillis d'*E. robusta* pour du bois énergie dans le but à la fois :
  - de continuer à **produire** du bois énergie : charbon de bois pour la zone urbaine et,
  - d'**alimenter** en « **bois de chauffe** », des structures ERD (*Electrification Rurale Décentralisée*) qui feront fonctionner des centrales électriques à biomasse ligneuse (il y en aura au moins 5 unités)

## Comment « appréhender » la productivité de la forêt ?

« **productivité du peuplement** = la production en volume bois exploitable par unité de surface et d'âge : **Accroissements courants et moyens (m<sup>3</sup>/ha/an)**

Hypothèse pour le calcul de la productivité : On sait depuis ASSMAN (1954) que la production en volume des peuplements forestiers **dépend** seule de « la **hauteur dominante de ces peuplements** » (la **hauteur dominante** étant la hauteur moyenne de la plus grosse tige et donc du plus gros rejet dans le cas des taillis).

Les taillis d'*E. robusta* des hautes terres malgaches et celles du plateau du Mangoro ont actuellement des souches âgées de 30 et 80 ans.

Pour les taillis purs (issus de rejets), la production en volume est certainement fonction des compétitions entre rejets d'une même souche ainsi que de l'histoire des souches.

Depuis environ 40 ans la rotation de coupe de 7 à 10 ans est vite raccourcie à 2 ou 3 ans. Pression de la demande en bois énergie oblige ...!

A partir de ce matériel, on a pu quadriller l'ensemble des taillis des hautes terres : 147.000 hectares représentés par 116 placettes de 2 ares

Le choix judicieux pour un échantillonnage croisé représentatif était délicat et primordial. Il s'agit de construire des modèles de croissance pour les taillis.

Ainsi, sur 116 placettes de 2 ares et d'âges identifiés de 5 à 25 ans, réparties sur l'axe Anjozorobe-Tsiazompaniry et parallèlement RN44 (du N au S) et la RN2 (W-E), 96 sont retenues (1993 – 2008)

Etude de la productivité = reconstitution de la vie du taillis – courbes de croissance

- On devait définir des « modèles de production » pour les taillis (en d'autres termes « modèles de croissance »)

:

- «**Tables de production**» construites avec les observations de la croissance de la biomasse ligneuse entre 1 et 25 ans.

- «**Abaques de référence** » qui permettront de guider les actions du sylviculteur, propriétaire de la forêt à gérer son taillis selon le principe du « **rendement soutenu** »

## Des relations mathématiques entre les variables dendrométriques pour la construction des modèles

- Rappel : On construira des « modèles de production » pour les taillis : «**Tables de production**» basées sur les observations de la croissance de la biomasse ligneuse entre 1 et 25 ans.
  - 5 étapes ont été nécessaires pour la construction des tables

- **Etape 1** : Analyse multivariante des informations sur la production des placettes de 2 ares retenues
- **Etape 2** : Courbes de croissance en hauteur des taillis pour **l'entrée principale** dans les tables de production : l'**INDICE DE FERTILITE** de la station.
- **Etape 3** : Relations entre les caractéristiques dendrométriques en fonction de l'âge du taillis (hauteurs, circonférences, ...)
- **Etape 4** : Relation entre volume bois total et indice de fertilité.
- **Etape 5** : Construction des tables de production

Pour chaque table de production :

**Résultat 1** : Indice de fertilité du peuplement **IF**

- Les entrées des tables sont l'**indice de fertilité (IF)**, la hauteur totale (**HTO**) et l'Age (**Age** ou **T**)

$$IF = \frac{\frac{HTO}{1 - e^{-0.204 \cdot T}} - (0.1 \cdot T)}{15.14}$$

$$HTO = (0.1 \cdot T + 15.14 \cdot IF) \cdot \left[ 1 - e^{-0.204 \cdot T} \right]$$

Pour chaque table de production :

**Résultat 2** : Les relations entre les caractéristiques dendrométriques

La hauteur dominante (HDO) du rejet moyen est en relation avec la hauteur totale moyenne du rejet

$$HDO = 0.79 + (1.15 \bullet HTO)$$

$$R_{corr}^2 = 0.928$$

$$\sigma = 1.33m$$

$$CDO = 6.25 \cdot HTO$$

$$R_{corr}^2 = 0.977$$

$$\sigma = 9.2cm$$

$$REJ = 1.84 + \left[ 5.13 \cdot e^{-0.25 \cdot HTO} \cdot e^{1.0 \cdot HSO} \cdot IF^{-0.74} \right]$$

$$R_{corr}^2 = 0.671$$

$$\sigma = 1.0 \text{ rejet/souche}$$

$$CBA = 2.97 + \left[ 17.41 \cdot HTO \cdot (NSO \cdot REJCALC)^{-0.196} \right]$$

$$R_{corr}^2 = 0.942$$

$$\sigma = 4.4cm$$

Pour chaque table de production :

**Résultat 3.** La production en volume bois fort  $V_{TH}$  s'exprime avec une loi de croissance intermédiaire  $V_i$

$$V_{TH} = V_i = 625 \cdot IF \cdot \left[ 1 - e^{\left( \frac{-0.06 \cdot T}{1 - 0.25 \cdot IF} \right)} \right]^{1.5}$$

$$R_{corr}^2 = 0.940$$

$$\sigma = 26.1 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

$$V_{TH} = 1.075 \cdot V_i \cdot \left[ 1 - e^{-0.0026 \cdot NSO} \right]$$

$$R_{corr}^2 = 0.948$$

$$\sigma = 24.7 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

## Application à Andaingo sur la propriété communale d'Ankariera soumise à un PSG (*plan simple de gestion*) :

**Objectif = *approvisionnement durable en bois de chauffe de la centrale de cogénération d'Anandrobe***

**Besoin = (pour l'électrification de la ville d'Andaingo pendant 8 heures par jour)**

- ***800 tonnes de bois d'eucalyptus***
- ***À fournir avec 24 hectares (/an) de taillis (soit 2 hectares par mois à partir de 2013)***

## Aménagement des taillis d'Andaingo (propriété communale de 120 hectares)

A Andaingo, nous avons appliqué le même modèle de productivité tel que présenté plus haut.

Le modèle sera utilisé à Ankasina et Antsahanifintatra dans le massif d'Ankariera (2013-2019 pour la première rotation et jusqu'en 2025 pour la durée de l'aménagement sous PSG)

Les abaques qui suivent synthétisent les tables de production

Application à l'aménagement des taillis d'eucalyptus des marais *E. robusta*

## Table de production pour Andaingo dans la propriété communale sous contrat PSG (IF faible = 0.55)

| AGE       | Hauteur    |                      | Production du taillis |             | Accroissements de la production  |                                    | Rejets      | Cbase       | AGE       |
|-----------|------------|----------------------|-----------------------|-------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| [ans]     | [m]        | [m <sup>3</sup> /ha] | [stères/ha]           | [tonnes/ha] | MOYEN<br>[m <sup>3</sup> /ha/an] | COURANT<br>[m <sup>3</sup> /ha/an] | [nb/souche] | [cm]        | [ans]     |
| 01        | 1.6        | 6.3                  | 2.2                   | 1.6         | 6.34                             |                                    | 13.8        | 6.8         | 01        |
| 02        | 2.9        | 17.0                 | 3.8                   | 2.9         | 8.51                             | 10.69                              | 10.5        | 10.4        | 02        |
| 03        | 3.9        | 29.7                 | 5.3                   | 4.0         | 9.91                             | 12.71                              | 8.4         | 13.6        | 03        |
| 04        | 4.9        | 43.5                 | 6.6                   | 5.0         | 10.89                            | 13.81                              | 7.1         | 16.6        | 04        |
| <b>05</b> | <b>5.6</b> | <b>57.9</b>          | <b>7.8</b>            | <b>5.9</b>  | <b>11.58</b>                     | <b>14.38</b>                       | <b>6.1</b>  | <b>19.2</b> | <b>05</b> |
| 06        | 6.3        | 72.5                 | 8.9                   | 6.7         | 12.09                            | 14.59                              | 5.5         | 21.5        | 06        |
| 07        | 6.9        | 87.1                 | 9.9                   | 7.4         | 12.44                            | 14.56                              | 5.0         | 23.5        | 07        |
| 08        | 7.3        | 101.4                | 10.8                  | 8.1         | 12.68                            | 14.36                              | 4.6         | 25.3        | 08        |
| 09        | 7.8        | 115.5                | 11.7                  | 8.7         | 12.83                            | 14.04                              | 4.3         | 26.9        | 09        |
| 10        | 8.1        | 129.1                | 12.4                  | 9.3         | 12.91                            | 13.63                              | 4.1         | 28.2        | 10        |
| 11        | 8.4        | 142.3                | 13.2                  | 9.9         | 12.93                            | 13.16                              | 4.0         | 29.3        | 11        |
| 12        | 8.7        | 154.9                | 13.8                  | 10.4        | 12.91                            | 12.66                              | 3.8         | 30.4        | 12        |
| 13        | 8.9        | 167.0                | 14.4                  | 10.8        | 12.85                            | 12.12                              | 3.7         | 31.4        | 13        |
| 14        | 9.2        | 178.6                | 15.0                  | 11.3        | 12.76                            | 11.58                              | 3.6         | 32.2        | 14        |
| 15        | 9.4        | 189.7                | 15.5                  | 11.7        | 12.64                            | 11.03                              | 3.5         | 33.0        | 15        |
| 16        | 9.5        | 200.1                | 16.0                  | 12.0        | 12.51                            | 10.49                              | 3.4         | 33.8        | 16        |
| 17        | 9.7        | 210.1                | 16.5                  | 12.4        | 12.36                            | 9.95                               | 3.4         | 34.3        | 17        |
| 18        | 9.9        | 219.5                | 16.9                  | 12.7        | 12.20                            | 9.43                               | 3.3         | 35.0        | 18        |
| 19        | 10.0       | 228.4                | 17.3                  | 13.0        | 12.02                            | 8.92                               | 3.2         | 35.7        | 19        |
| 20        | 10.2       | 236.9                | 17.7                  | 13.3        | 11.84                            | 8.42                               | 3.2         | 36.1        | 20        |

# Application à l'aménagement des taillis d'eucalyptus des marais *E. robusta*

## Table de production pour Andaingo dans la propriété communale sous contrat PSG (IF moy = 0.65)

| AGE              | Hauteur           |                    | Production du taillis |                   | Accroissements de la production |                       | Rejets            | Cbase              | AGE              |
|------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| [ans]            | [m]               | [m³/ha]            | [stères/ha]           | [tonnes/ha]       | MOYEN<br>[m³/ha/an]             | COURANT<br>[m³/ha/an] | [nb/souche]       | [cm]               | [ans]            |
| <b>01</b>        | 1.8               | 7.8                | 2.4                   | 1.8               | 7.81                            |                       | 9.9               | 7.8                | <b>01</b>        |
| <b>02</b>        | 3.4               | 21.0               | 4.3                   | 3.3               | 10.48                           | 13.15                 | 7.3               | 12.3               | <b>02</b>        |
| <b>03</b>        | 4.6               | 36.6               | 6.0                   | 4.5               | 12.19                           | 15.60                 | 5.8               | 16.5               | <b>03</b>        |
| <b>04</b>        | 5.7               | 53.5               | 7.5                   | 5.6               | 13.37                           | 16.90                 | 4.9               | 20.1               | <b>04</b>        |
| <b><u>05</u></b> | <b><u>6.6</u></b> | <b><u>71.0</u></b> | <b><u>8.8</u></b>     | <b><u>6.6</u></b> | <b><u>14.20</u></b>             | <b><u>17.55</u></b>   | <b><u>4.3</u></b> | <b><u>23.3</u></b> | <b><u>05</u></b> |
| <b>06</b>        | 7.4               | 88.8               | 10.0                  | 7.5               | 14.80                           | 17.77                 | 3.8               | 26.2               | <b>06</b>        |
| <b>07</b>        | 8.0               | 106.5              | 11.1                  | 8.3               | 15.21                           | 17.69                 | 3.5               | 28.7               | <b>07</b>        |
| <b>08</b>        | 8.6               | 123.9              | 12.1                  | 9.1               | 15.48                           | 17.40                 | 3.3               | 30.7               | <b>08</b>        |
| <b>09</b>        | 9.0               | 140.8              | 13.1                  | 9.8               | 15.65                           | 16.97                 | 3.1               | 32.6               | <b>09</b>        |
| <b>10</b>        | <b>9.4</b>        | <b>157.3</b>       | <b>13.9</b>           | <b>10.5</b>       | <b>15.73</b>                    | <b>16.43</b>          | <b>3.0</b>        | <b>34.1</b>        | <b>10</b>        |
| <b>11</b>        | 9.8               | 173.1              | 14.7                  | 11.1              | 15.74                           | 15.83                 | 2.9               | 35.5               | <b>11</b>        |
| <b>12</b>        | 10.1              | 188.3              | 15.5                  | 11.6              | 15.69                           | 15.18                 | 2.8               | 36.8               | <b>12</b>        |
| <b>13</b>        | 10.4              | 202.8              | 16.2                  | 12.1              | 15.60                           | 14.51                 | 2.8               | 37.7               | <b>13</b>        |
| <b>14</b>        | 10.6              | 216.6              | 16.8                  | 12.6              | 15.47                           | 13.83                 | 2.7               | 38.7               | <b>14</b>        |
| <b>15</b>        | 10.8              | 229.8              | 17.4                  | 13.0              | 15.32                           | 13.14                 | 2.7               | 39.4               | <b>15</b>        |

# Application à l'aménagement des taillis d'eucalyptus des marais *E. robusta*

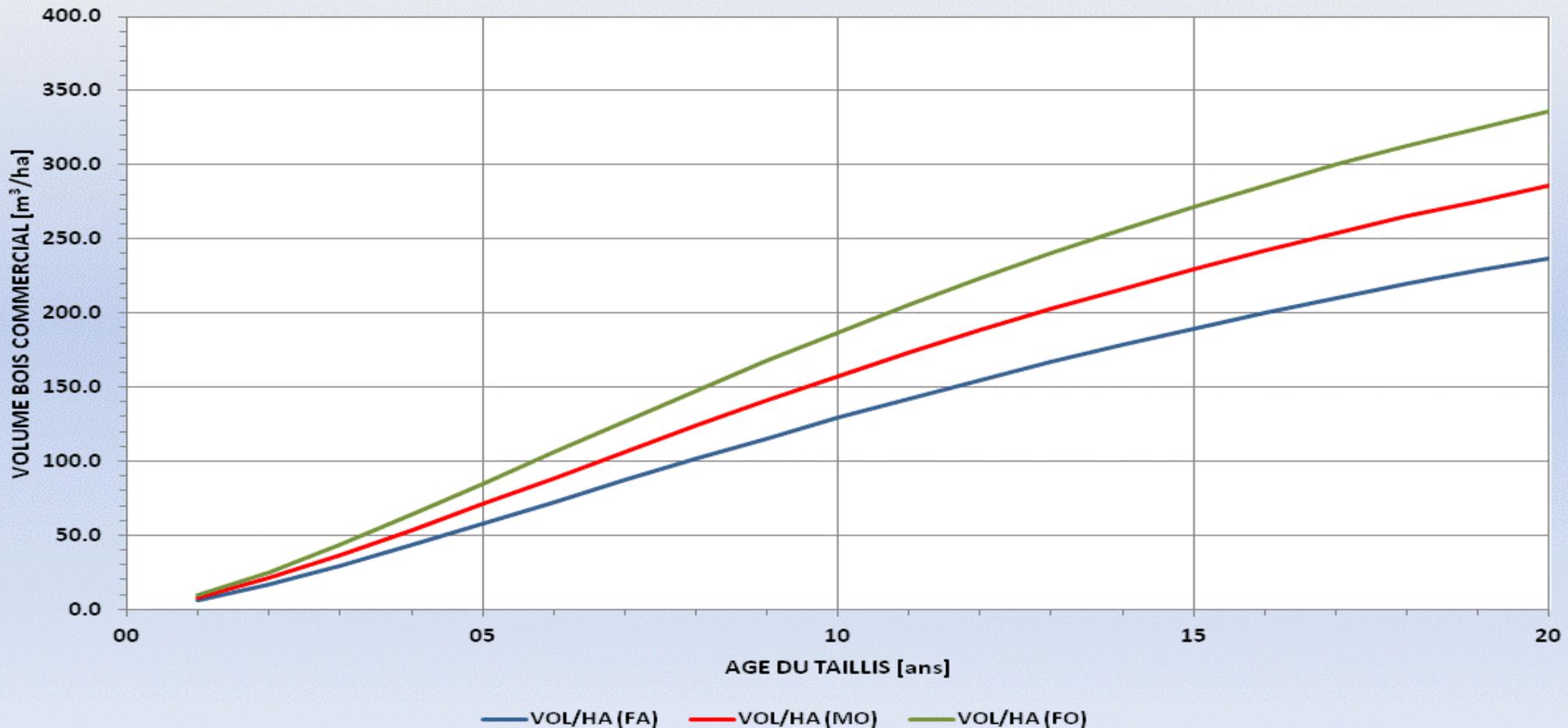
## Table de production pour Andaingo dans la propriété communale sous contrat PSG (IF max = 0.75)

| AGE       | Hauteur    |                      | Production du taillis |             | Accroissements de la production  |                                    | Rejets      | Cbase       | AGE       |
|-----------|------------|----------------------|-----------------------|-------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| [ans]     | [m]        | [m <sup>3</sup> /ha] | [stères/ha]           | [tonnes/ha] | MOYEN<br>[m <sup>3</sup> /ha/an] | COURANT<br>[m <sup>3</sup> /ha/an] | [nb/souche] | [cm]        | [ans]     |
| 01        | 2.1        | 9.4                  | 2.7                   | 2.0         | 9.42                             |                                    | 8.6         | 8.7         | 01        |
| 02        | 3.9        | 25.2                 | 4.8                   | 3.6         | 12.62                            | 15.82                              | 6.2         | 14.1        | 02        |
| 03        | 5.3        | 43.9                 | 6.7                   | 5.0         | 14.65                            | 18.70                              | 4.8         | 19.1        | 03        |
| 04        | 6.6        | 64.2                 | 8.3                   | 6.2         | 16.04                            | 20.22                              | 4.0         | 23.5        | 04        |
| <b>05</b> | <b>7.6</b> | <b>85.1</b>          | <b>9.8</b>            | <b>7.3</b>  | <b>17.02</b>                     | <b>20.93</b>                       | <b>3.5</b>  | <b>27.3</b> | <b>05</b> |
| 06        | 8.4        | 106.2                | 11.1                  | 8.3         | 17.70                            | 21.13                              | 3.2         | 30.5        | 06        |
| 07        | 9.2        | 127.2                | 12.3                  | 9.3         | 18.17                            | 20.98                              | 3.0         | 33.3        | 07        |
| 08        | 9.8        | 147.8                | 13.5                  | 10.1        | 18.47                            | 20.59                              | 2.8         | 35.7        | 08        |
| 09        | 10.3       | 167.8                | 14.5                  | 10.9        | 18.65                            | 20.02                              | 2.7         | 37.7        | 09        |
| 10        | 10.7       | 187.2                | 15.4                  | 11.6        | 18.72                            | 19.34                              | 2.6         | 39.5        | 10        |
| 11        | 11.1       | 205.7                | 16.3                  | 12.2        | 18.70                            | 18.58                              | 2.5         | 41.1        | 11        |
| 12        | 11.5       | 223.5                | 17.1                  | 12.8        | 18.63                            | 17.78                              | 2.4         | 42.6        | 12        |
| 13        | 11.8       | 240.5                | 17.8                  | 13.4        | 18.50                            | 16.95                              | 2.4         | 43.6        | 13        |
| 14        | 12.0       | 256.6                | 18.5                  | 13.9        | 18.33                            | 16.11                              | 2.4         | 44.5        | 14        |
| 15        | 12.3       | 271.8                | 19.2                  | 14.4        | 18.12                            | 15.27                              | 2.3         | 45.6        | 15        |
| 16        | 12.5       | 286.3                | 19.7                  | 14.8        | 17.89                            | 14.44                              | 2.3         | 46.4        | 16        |
| 17        | 12.6       | 299.9                | 20.3                  | 15.2        | 17.64                            | 13.64                              | 2.3         | 47.0        | 17        |
| 18        | 12.8       | 312.8                | 20.8                  | 15.6        | 17.38                            | 12.85                              | 2.3         | 47.6        | 18        |
| 19        | 13.0       | 324.9                | 21.2                  | 15.9        | 17.10                            | 12.10                              | 2.2         | 48.6        | 19        |
| 20        | 13.1       | 336.2                | 21.7                  | 16.2        | 16.81                            | 11.37                              | 2.2         | 49.1        | 20        |

# Table de production pour Andaingo dans la propriété communale sous contrat PSG

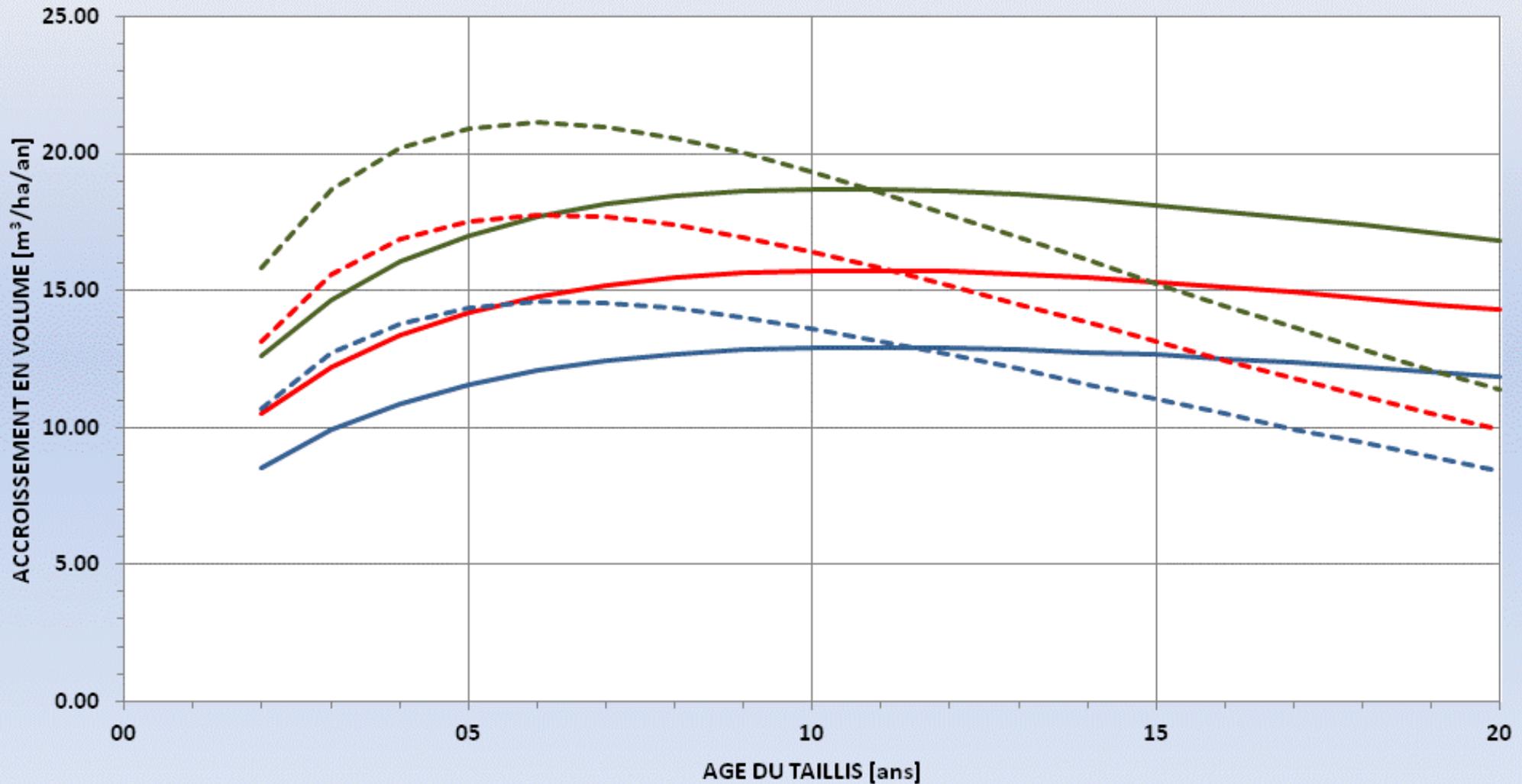
Production en volume commercial bois énergie des taillis d'eucalyptus d'Andaingo

FERTILITE : "FA" Faible - "MO" Moyenne - "FO" Forte



Accroissements en volume commercial : annuels moyens ("AM") et courants ("AC") des taillis d'eucalyptus d'Andaingo

FERTILITE : "FA" Faible - "MO" Moyenne - "FO" Forte



AM.VOL/HA (FA) AM.VOL/HA (MO) AM.VOL/HA (FO) AC.VOL/HA (FA) AC.VOL/HA (MO) AC.VOL/HA (FO)

Les **productivités** varient beaucoup selon la fertilité **IF**.  
En moyenne, elles sont fortes : 20.5 m<sup>3</sup>/ha/an à 10 ans.

L'âge d'exploitabilité absolu se situerait entre 10 et 12 ans.

On remarque néanmoins que la courbe de l'AAM commence à s'aplatir dès 5 ans (maximum de l'AAC)

Le choix de la rotation de 5 ans n'est pas très contraignant.

En conclusion :

1. L'étude de la productivité des taillis de la CR Andaingo a montré qu'il faudra annuellement couper 24 hectares d'eucalyptus afin d'approvisionner la centrale de cogénération (électrification rurale et séchage de bois)

2. Remarque : Les propriétaires privés semblent ne pas être prêts à adopter ces principes d'exploitation durable axés sur la notion de productivité.

**Merci de votre attention !**

**Le film présenté pendant la conférence sera bientôt disponible sur You Tube.**

**L'intitulé de ce film est :**

**L'électrification rurale décentralisée par combustion de biomasse : un outil de développement et de lutte contre la pauvreté : l'exemple de la commune rurale d'Andaingo, région Alaotra-Mangoro, Madagascar.**

### Résumé

Après quatre années d'efforts, depuis le 6 septembre 2012, la première centrale thermoélectrique biomasse de Madagascar (voire d'Afrique) installée dans la commune rurale d'Andaingo est fonctionnelle. L'enjeu de cet équipement qui produit une ERD au coût de 700 Ar / kwh (0,24 €) est d'assurer d'une part cette production d'ERD à faible coût, facteur de développement en aval mais aussi, par la mise en place de filières d'approvisionnement en biomasse bois ou déchets, d'être d'autre part, une source de richesse en amont. Ce double facteur de richesse est propre à l'ERD biomasse et n'existe pas pour les systèmes hydrauliques, éoliens ou solaires. Le film présentera l'installation notamment les modalités de la gestion forestière durable prévue par le plan simple de gestion, suivie par le gestionnaire, qui permet d'assurer qu'aucun risque environnemental ou de déforestation n'est à craindre.

Pierre Montagne



# LE REBOISEMENT D'EUCALYPTUS SOURCE D'ENERGIE RENOUVELABLE A MADAGASCAR Cas de la Région DIANA





## SOMMAIRE

- Objectifs
- Vision de la filière bois-énergie
- Approche du RVI
- Principes écologiques
- Principes économiques
- Résultats
- Réflexions actuelles sur l'Eucalyptus



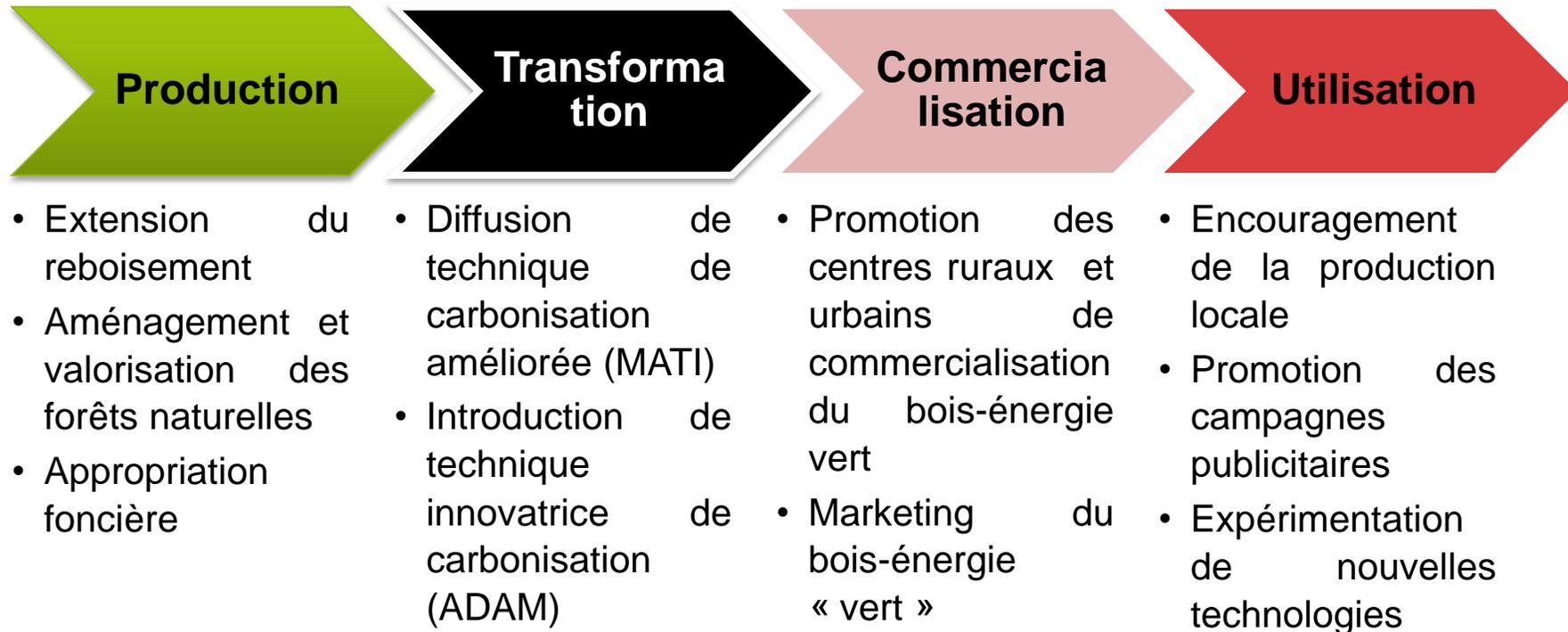
# OBJECTIFS

## Objectifs

- Assurer un approvisionnement du bois-énergie/charbon de bois à partir des plantations
- => Lutter contre la pauvreté en milieu rural
- => Réduire les pressions sur les forêts naturelles en diminuant la part de charbon produit dans les zones de production non durables



# VISION DE LA FILIERE BOIS-ENERGIE



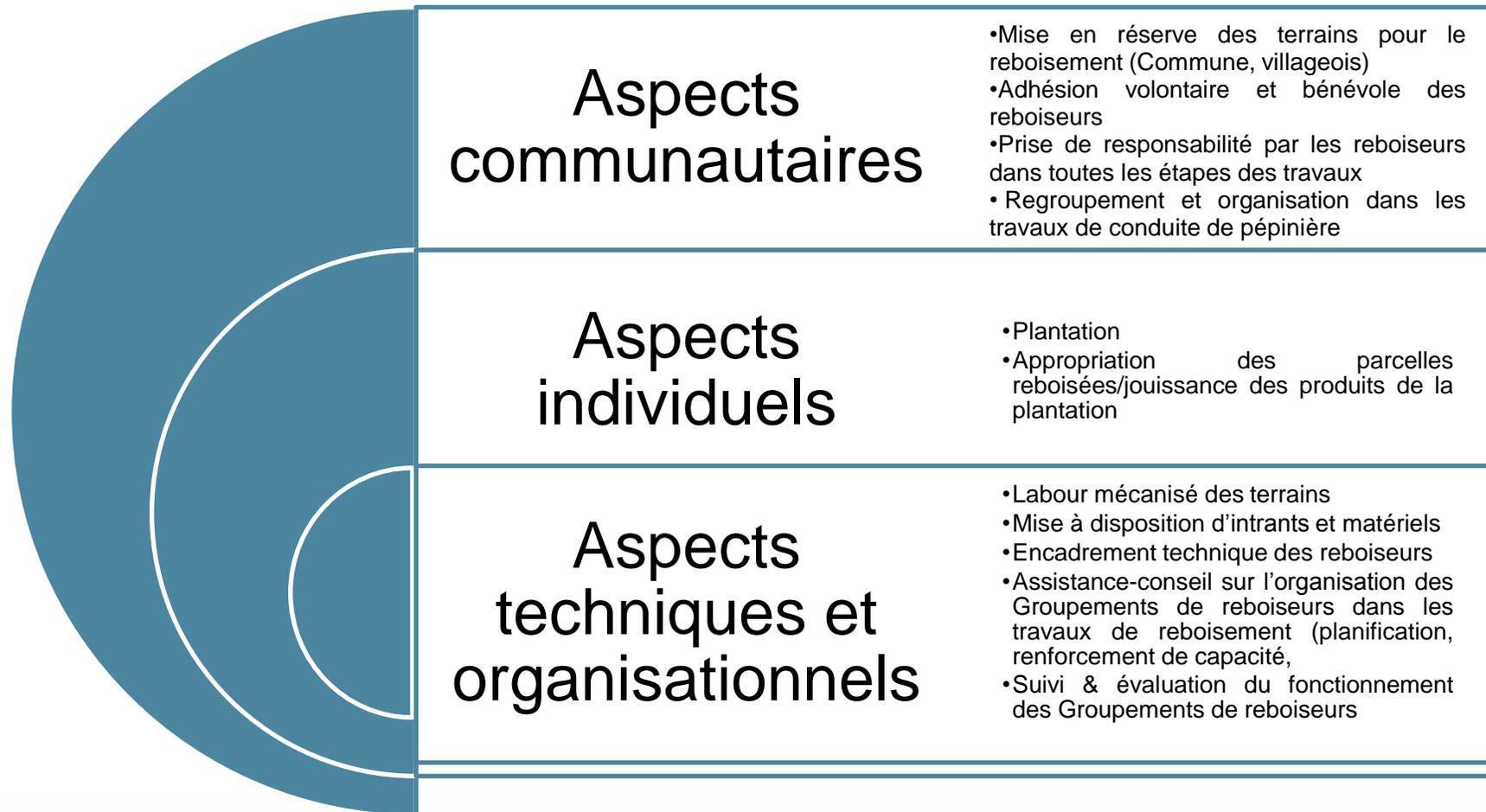
## Axes transversaux

- Consolidation des cadres réglementaire et politique
- Renforcement du système de suivi et évaluation
- Intégration de la stratégie sur la modernisation de la FBE au sein de la société civile





## L'APPROCHE GENERALE RVI





## PRINCIPES ÉCOLOGIQUES

### Sélection des essences à reboiser

- Test de diversification des espèces autochtones et exotiques à régénérescence rapide pour la production de bois énergie
  - ⇒ Utilisation d'arbres à croissance rapide adaptés à des périodes de rotation de 5-7 ans
- Choix de l'eucalyptus par les paysans par expérience et enjeux économiques
- achat de graines locales => peuplement très hétérogène => croissance lente
  - ➔ Importation de graines provenant d'Australie => amélioration qualité de la semence.



## PRINCIPES ÉCOLOGIQUES

- Labour mécanisé sol avant plantation
  - => lutte contre l'érosion, l'infiltration d'eau, limitation des mauvaises herbes, intensification des travaux
- Plantations sur sols impropres à toute autre spéculation agricole → rentabilité économique (6 à 7 m<sup>3</sup> de bois/an)





## PRINCIPES ECONOMIQUES

- Subvention des coûts de reboisement (labour et intrants)
- Garantie du droit de jouissance individuelle de l'exploitation des parcelles reboisées
- Facilitation du processus de la certification foncière



## RÉSULTATS

- Instauration de verger à graines

⇒ 5 provenances:

- Gilbert River, NE Normanton
- Emu Creek, Petford
- Katherine River
- S Mont Isa, route Rifle Creek
- Katherine River



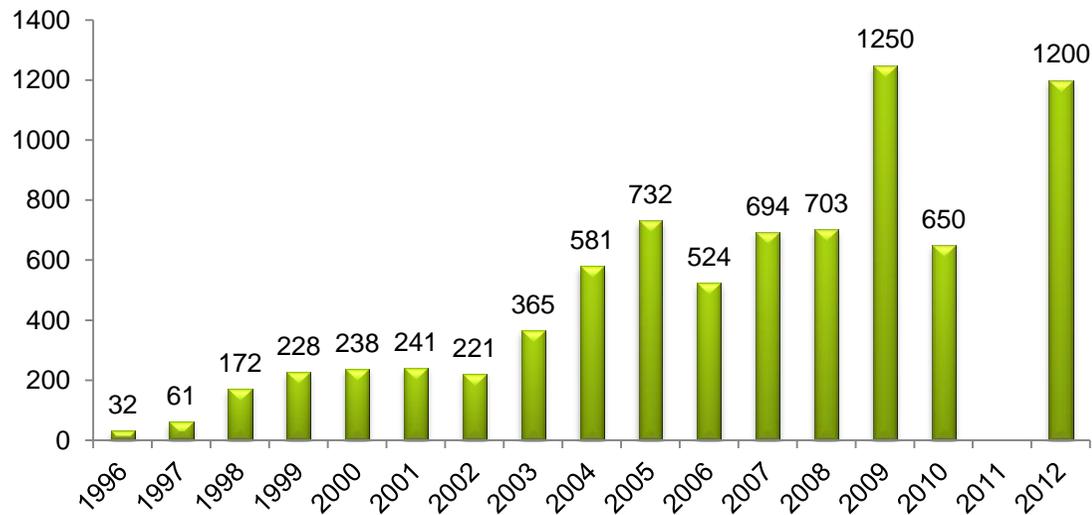
| Accroissement (m <sup>3</sup> /ha/an) | Volume sur pieds (m <sup>3</sup> /ha) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 7,2                                   | 37,2                                  |



## RÉSULTATS (SUITE)

### Ecologique

- 7900 ha à Diana
- Ceinture verte partiellement à proximité des Aires Protégées





## RÉSULTATS (SUITE)

### Economique

- 7900 ha dont 800 ha/ an → 30.000 personnes approvisionnées en charbon de bois (6500 ménages sur les 21 000)
  - exploités légalement par 550 charbonniers utilisant des meules améliorées MATI
  - création de revenu supplémentaire légal en milieu rural



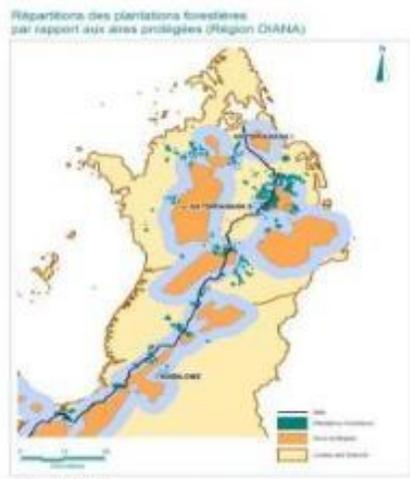
## RÉFLEXIONS ACTUELLES

- Les relations environnementales (impact du reboisement d'Eucalyptus sur la biodiversité, sol, eau, ...)
- Les alternatives pour une meilleure rentabilité des peuplements
- Les impacts d'une courte rotation (inférieur à 6 ans) sur la productivité
- L'impact du changement climatique sur les reboisements *l'Eucalyptus camaldulensis*
- Mesures d'adaptation et de résilience au changement climatique
- La séquestration/émission de CO<sub>2</sub> → dans le cadre du marché de carbone



## RÉFLEXIONS ACTUELLES

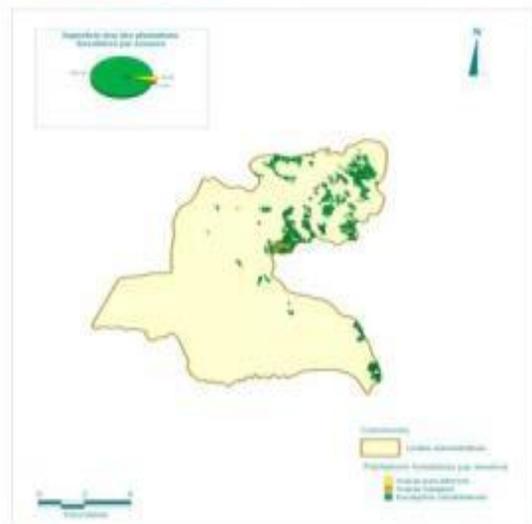
- Intégration de la base de données plantations dans le système de suivi des superficies reboisées à Madagascar



© GIZ/CC-BY 4.0

les GreenMap

Répartition des plantations forestières  
Commune de Sajoavato





# MERCI DE VOTRE AIMABLE ATTENTION

Pour plus d'informations

Email PGME/GIZ, Madagascar: [giz-madagaskar@giz.de](mailto:giz-madagaskar@giz.de)

Brochures (fr.) [http://www.eco-consult.com/engl/2\\_resources/b\\_publications/2007/reboisement\\_villageois\\_individuel.pdf](http://www.eco-consult.com/engl/2_resources/b_publications/2007/reboisement_villageois_individuel.pdf)

