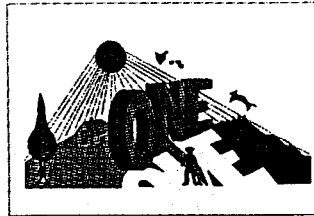


REPUBLIQUE DE MADAGASCAR

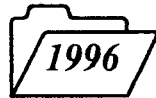


OFFICE NATIONAL DE
L'ENVIRONNEMENT

P . C . S

PROJET CONSERVATION DES SOLS

BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS
EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR



SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES PAR THEMES

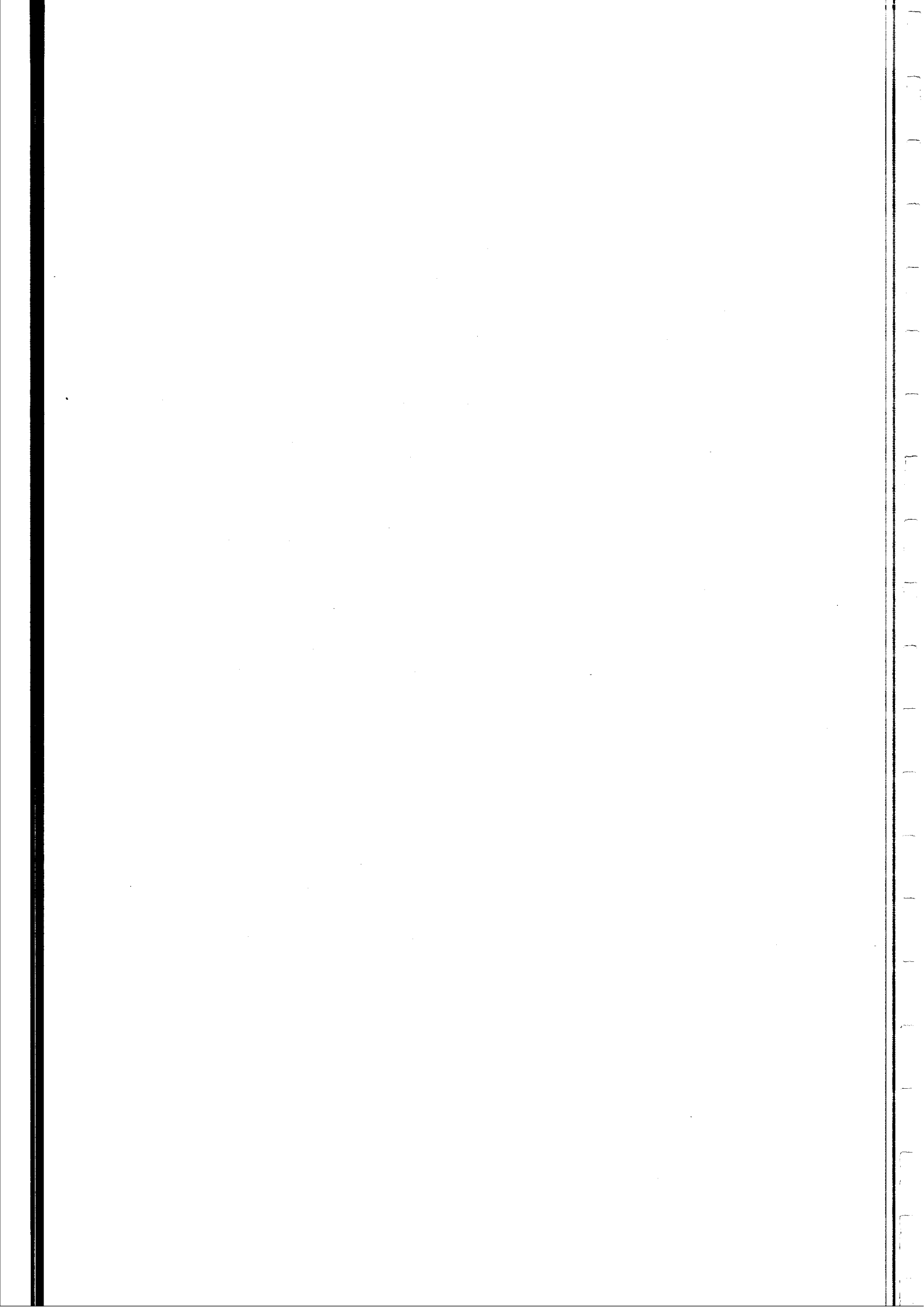
volume : II

MESURE DES PHENOMENES D'EROSION

Mars 1997

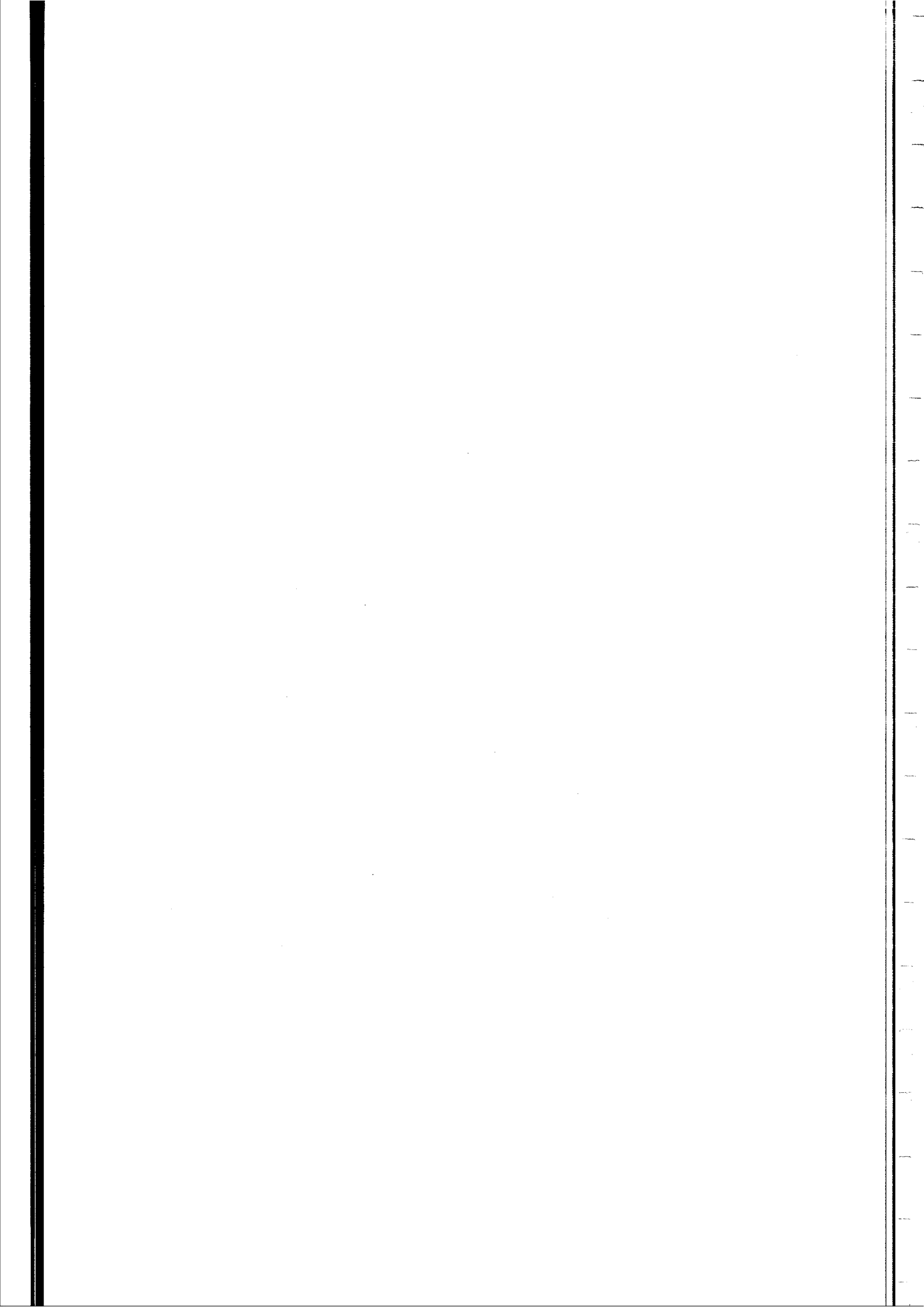


Centre de coopération internationale
en recherche agronomique
pour le développement

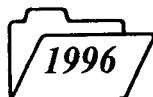


2

MESURE DES PHENOMENES
D'EROSION



BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS
EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR

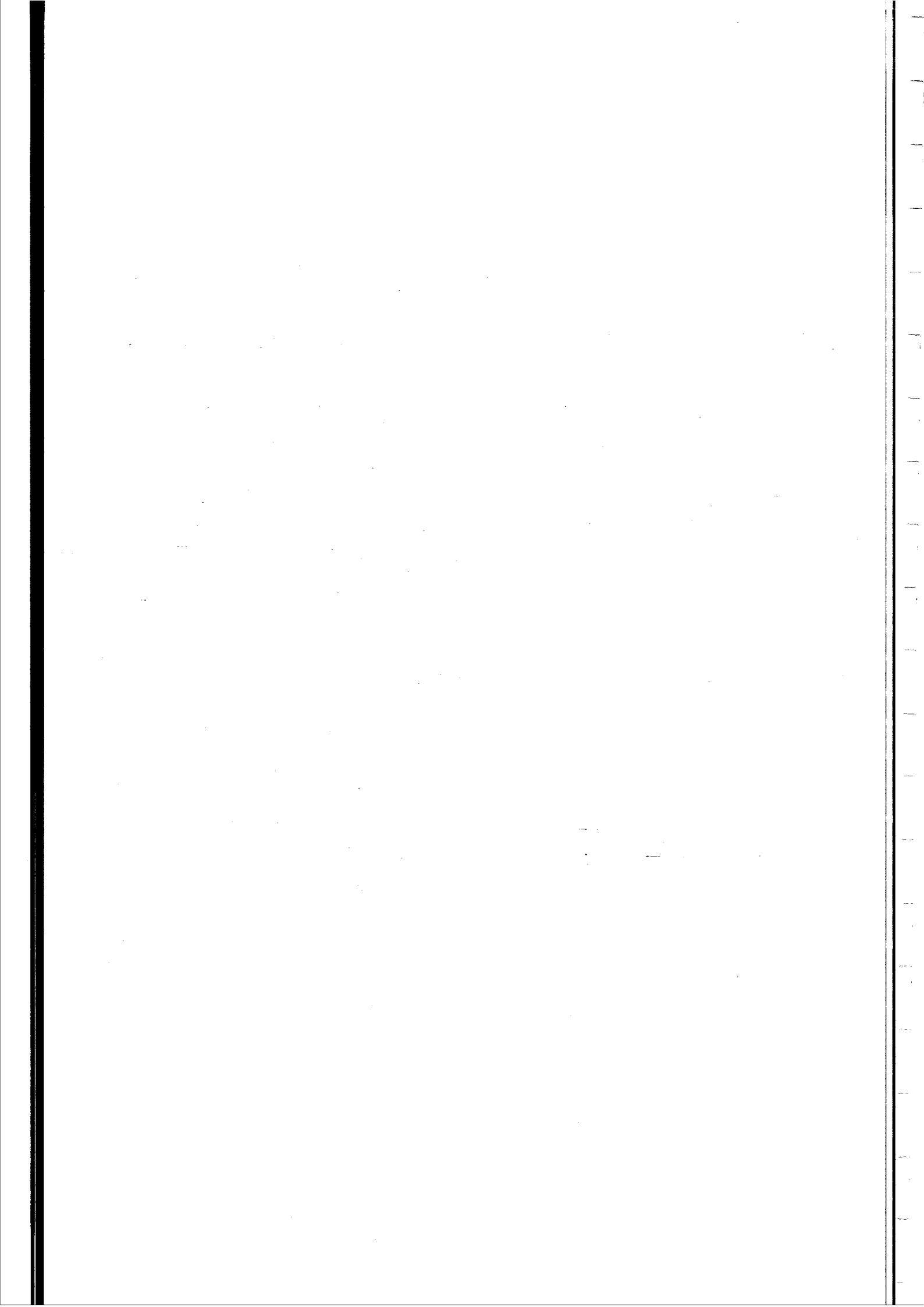


MESURE DES PHENOMENES D'
EROSION

- ✓ 2.1. EXPERIMENTATION ET SUIVI EN PARCELLES
ELEMENTAIRES
 - ✓ 2.2. SUIVIS DE BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX
-
-

par Nicolas ANDRIAMAPIANINA
FOFIFA / DRFP

Mars 1997



2. MESURE DES PHENOMENES D'EROSION

Rappel historique

Les premières recherches sur l'érosion ont débuté vers le début des années cinquante. Successivement, ces activités de recherches ont été menées par :

- Le Bureau des Sols du Service des Eaux et Forêts durant les années 50.
- Puis ce Bureau fût transformé en Bureau d'Etude du Service des eaux et Forêts et de la Conservation des sols.
- A la fin des années 50, les activités de recherches sur l'érosion ont été reprises par le Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) par l'intermédiaire de sa Division Lutte contre l'Erosion jusqu'en 1974.
- Puis le FOFIFA a pris la relève par l'intermédiaire du Département des recherches Forestières et Piscicoles/Programme Conservation des Sols.

Les principales préoccupations étaient jusqu'aux années 70 de caractériser les différents facteurs de ruissellement et d'érosion, sous différentes conditions climatiques et pédologiques. Des recherches ont été également effectuées pour connaître les impacts des différents types de couverts végétaux naturels et anthropiques sur le ruissellement et l'érosion. Ces recherches ont été menées à échelles différentes : niveau parcelle élémentaire et niveau bassin versant expérimental. Enfin les recherches ont couvert les différents domaines agroécologiques de Madagascar.

Concernant les observations en parcelles élémentaires, nous avons les stations suivantes.

Zones des Hautes Terres :

- Fianarantsoa : Ampamaherana : (1960-1968)¹.
- Tananarive : Ambatobe (1958-1966), Ampangabe (1958 -1973) et Manankazo (1961-1990).
- Vakinankaratra : Nanokely (1957-1966) et Ambatomainty (1973-1978) et Ambatolampy (depuis 1996).

Zone de la falaise orientale :

- Analamazaotra (1965-1974).
- Lac Alaotra Ambohikely (1959-1966).
- Beforona (dépuis 1974).

Zone Cotière Est :

- Ivoloina (1960-1974)

¹ Période d'observation

Zone Ouest Nord-Ouest :

- Majunga/Miadana (1970-1973).
- Befandriana Nord (1967-1973).
- Port-Berger (1990-1993)

Zone Sud :

- Bezaha-Taheza (1961-1966)
- Ankazoabo(1962 -1973)

Zone Moyen-Ouest :

- Kianjasoa (1969-1975)

A de Beforona, dans le cadre du Projet « Terre Tany² ». Les dispositifs ont été même renforcés par d'autres installations. En dehors des anciennes parcelles, de nouvelles parcelles ont été installées, en 1994, dans la Forêt naturelle (Vohidrazana), sous savoka (Beforona) et sous savane (Sahanampinga)

Sur les Hautes Terres, les dispositifs de mesures de Kianjasoa ont été transférés à Avaratrambolo-Talatavolonondry³, en 1991, toujours dans le cadre du Projet Terre Tany. Dans cette nouvelle station l'objectif principal de la recherche est de quantifier l'érosion des sols sous différents types d'utilisation des sols (jachère améliorée, bande enherbées, billonnage et cultures traditionnelles).

La coopération Allemande GTZ a contribué aussi à la recherche sur l'érosion. En 1990, des étudiantes allemandes et malgaches ont mené en collaboration des recherches en parcelles d'érosion à **Port-Bergé** dans le Nord-Ouest. De même, un programme de recherche en parcelles d'érosion a été aussi entrepris à **Ambatolampy** dans le cadre du Projet de Développement Forestier Intégré du Vakinankaratra depuis 1995.

Les expérimentations en bassins versants, ont été amorcées par le CTFT en 1963. Les objectifs de ces recherches étaient de caractériser à une échelle plus proche de la réalité, les influences des couverts végétaux et de leurs modifications sur le ruissellement, l'érosion des sols et le bilan de l'eau. Des bassins versants représentatifs ont été sélectionnés dans différents domaines agro-écologiques :

Zone des Hautes Terres : Manankazo (depuis 1963), Ambatomainty (1972-1978)

Falaise Orientale : Analamazaotra (1965-1974), Lac Alaotra (1953-1956)

Zone sud : Antanimora(1963-1968)

Nord Ouest et Ouest : Befandriana Nord (1967-1971), Maevatanana (19 -19)

²Projet de la Coopération Suisse, projet d'appui du Programme Conservation des Sols du FOFIFA.

³Zone d'intervention du Projet Terre Tany à 30 km au Nord de Tananarive

Actuellement des suivis de bassins versants sont effectués par le Projet Terre-tany (Suivi hydrologique) à **Beforona** (1990) et **Avaratrambolo** (1990). Par ailleurs, l'ORSTOM avait mené des études hydrologiques dans les bassins versants de la **Behenjy-Tafaina** (1971-1973) et d'**Ambohitrakoho** (1989-1991).

2.1. EXPERIMENTATIONS ET SUIVIS EN PARCELLES ELEMENTAIRES

Le CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), l'IRAM (Institut des Recherches Agronomiques de Madagascar) puis le DRFP (Département de Recherches Forestières et Piscicole) du FOFIFA ont largement contribué à la connaissance de l'érosion à Madagascar. Les suivis des parcelles d'érosion ont double objectifs :

- Quantification de l'érosion maximale afin de définir les paramètres de l'équation universelle de perte en terre de Wischmeier⁴.
- Comparaison des influences des couverts végétaux et leurs modifications
- Etude des influences des successions culturales et des pratiques culturales

2.1.1. LES DIFFERENTS FACTEURS DE L'EROSION.

Les recherches sur le processus de l'érosion ont été focalisées sur l'application de l'équation universelle de Wischmeier afin d'évaluer les différents paramètres sous différentes conditions. L'équation générale de Wischmeier s'écrit :

$$A = 2,24.R.K.LS.P.$$

| | | |
|------|---|---|
| A | = | Pertes en terres en tonne par hectare |
| 2,24 | = | Coefficient permettant d'utiliser le système métrique pour les pertes en terre. |
| R | = | Indice-pluie ou agressivité climatique ou érosivité des pluies |
| K | = | Indice-sol ou érodibilité des sols. |
| LS | = | Indice-pente(longueur et pourcentage). |
| C | = | Indice de culture, caractérisant la couverture végétale du sol. |
| P | = | Indice des traitements antiérosifs. |

2.1.1.1. Etude de l'indice pluie : R

L'indice pluie est obtenue par l'exploitation des données pluviographiques. Elle est définie par Wischmeier comme étant le produit de l'énergie globale de la chute de pluie (Eg) par l'intensité maximale en trente minutes Im₃₀ (divisé par 173560 pour le système métrique).

$$R = \frac{1}{1735,6} * \frac{Eg \cdot Im_{30}}{100}$$

⁴Voir plus bas

Avec E_g en tonne-mètre/km² et Im_{30} en mm/heure

Notons cependant que dans le corps de la pluie, l'énergie des gouttes fluctue selon l'intensité des pluies. La pluie est donc subdivisée en différentes tranches d'intensité et d'énergie homogène. On devrait considérer cette subdivision de la pluie par tranche dans le calcul de l'énergie globale (E_g). Chaque tranche de pluie a son intensité horaire qui se calcule en multipliant l'intensité maximale en 30min par deux et sa quantité d'eau tombée (Q).

Pour le calcul de l'énergie globale de la pluie on fait intervenir ces deux notions d'énergie unitaire (E_u) et d'énergie homogène (E_h). Les équations s'inscrivent comme suit selon les relations établies par Wischmeier :

$$E_u = 1214 + 890 \log I_h$$

(I_h étant l'intensité horaire de la pluie)

$$E_h = E_u \cdot Q(\text{mm})$$

L'énergie globale (E_g) est alors la moyenne des énergies homogènes (E_h) de toutes les pluies unitaires. Les résultats de ces études ont permis de connaître l'érosivité climatique de quatorze stations réparties dans les différentes zones de Madagascar. Nous résumons dans le tableau suivant ces valeurs de R :

Tableau 1 : Valeurs des Indices-pluies à Madagascar (DRFP-CTFT-1976)

| Zones | Sous zones | Stations | Indice pluie (R) | Périodes d'observations |
|-----------------------|-------------|------------------|--------------------|-------------------------|
| Nord-Ouest | Nord-Ouest | Miadana | 1230 | 1970-1973 |
| Est | Est | Ivoloina | 957 | 1966-1972 |
| | Moyen-Est | Périnet | 494 | 1963-1972 |
| Ouest | Sud-ouest | Taheza | 290 | 1962-1966 |
| | Ouest | Miadana | 988 | 1970-1975 |
| | Nord | Befandriana-Nord | 1204 | 1968-1972 |
| | Moyen-Ouest | Kianjasoa | 718 | 1967-1975 |
| Hauts Plateaux | Centre | Nanisana | 370 | 1965-1973 |
| | Ouest | Manankazo | 508 | 1962-1975 |
| | Est | Ambatomainty | 385 | 1972-1975 |
| | Sud | Ampamaherana | 476 | 1962-1975 |
| | Ankaratra | Nanokely | 359 | 1965-1972 |
| | Lac Alaotra | Vallée témoin | 479 | 1962-1968 |
| | Mangoro | Analabe | 621 | 1969-1971 |
| Sud | Extrême-Sud | Antanimora | 230 | 1962-1967 |

On peut encore résumer le tableau comme suit :

Tableau 2 : Récapitulatif de l'Indice-pluie (DRFP- CTFT-1976)

| Zones | Indice Pluie : R | Appréciations |
|---------------------|-------------------|---------------|
| Ouest et Nord-Ouest | supérieure à 1200 | très forte |
| Est | 950 | assez forte |
| Hauts-Plateaux | 500 | moyenne |
| Sud | inférieure à 300 | Faible |

L'échelle d'appréciation est évaluée selon les observations effectuées dans toutes les stations de Madagascar et des valeurs observées en Afrique du Nord⁵ et Occidentale⁶.

De ces données on peut tirer quelques commentaires :

- A l'Ouest et au Nord Ouest, où l'intensité moyenne des pluies est comprise entre 110mm/h et 160mm/h⁷, les pluies sont surtout composées de forts orages estivaux. Ces derniers sont très érosifs surtout en début des saisons de pluies.
- A l'Est, on observe également une agressivité des pluies assez élevée. Par ailleurs, on sait que la falaise orientale est une zone de fréquents cyclones, l'indice R est d'autant plus grande durant les fortes pluviosités cycloniques. On a enregistré des intensités maximale de 144mm/h et une érosivité de 1036 (Joules/mh) pendant le cyclone Hutelle (Terre-Tany-1996)
- Sur les Hautes Terres, l'agressivité des pluie est atténuée à cause de l'ascension orographique que subissent les pluies et beaucoup de pluies sont de faibles intensités (pluies fines). L'intensité moyenne régionale des Hautes Terres est de 90mm/h à 110mm/h⁸. Cependant de forts orages sont fréquents en début d'été
- C'est au Sud que l'indice pluie est la plus faible. Cette situation s'explique par la rareté des pluies d'une part et par énergies des orages peu importantes d'autre part. L'intensité moyenne des pluies est de 60mm/h⁹.

L'érosion ne dépend pas seulement de l'agressivité des pluies, elle est aussi et surtout conditionnée par la susceptibilité des sols à l'ablation. Plusieurs facteurs interviennent pour définir cette stabilité des sols : la texture, la structure et la perméabilité.

2.1.1.2. Etudes de l'indice sol : K

Les parcelles de mesure de l'érosion maximale standard ont des dimensions de 5m de large et 20m de long et une pente représentative du milieu. Cet dimensionnement est établi selon des protocoles standards adaptés aux conditions africaines mis aux point par

⁵Maroc

⁶Eric ROOSE.

⁷B. Souchier-1964

⁸Idem à 7

⁹Idem à 7

l'ORSTOM et le CTFT. Ces dimensions ne diffèrent pas trop de celles proposées par Wischmeier dans les conditions américaines (22,1m de long).

Les facteurs P et C sous conditions Wischmeier sont égaux à 1, l'indice d'érodibilité est alors obtenue par l'équation :

$$K = \frac{E}{R.LS.2,24}$$

où E = érosion en tonne/ha/an
R = indice de pluie
LS = facteur topographique

Le facteur LS se calcule comme suit (Wischmeier et Smith) :

où L = longueur de la pente en pieds (1pieds = 0,3048m)
S = valeur de la pente en %.

Les résultats issus de ces recherches sont rassemblés dans le tableau n°3. Les valeurs des pertes en terre sont les moyennes des années d'observations. Nous avons éliminé quelques observations annuelles que nous avons jugé erronées.

Tableau 3: Perte en terre maximale et érodibilité des sols à Madagascar (DRFP-CTFT-1976)

| Zones | Sous zones | Stations | Pertes en terre maximale annuelle (t/ha/an) | Erodibilité K | Nombre d'année d'observations |
|-----------------------|-------------|---------------|---|---------------|-------------------------------|
| Hauts plateaux | Est | Ambatomainity | 233,9 | 0,19 | 2 |
| | Sud | Ampamaherana | 320,8 | 0,03 | 2 |
| | Ouest | Manankazo | 457,0 | 0,24 | 2 |
| | Centre | Nanisana | 80,5 | 0,20 | 6 |
| | Ankaratra | Nanokely | 198,1 | 0,22 | 7 |
| Ouest | Centre Nord | Befandriana | 312,2 | 0,16 | 4 |
| | Nord | Nord | 131,0 | 0,23 | 5 |
| | Moyen ouest | Miadana | 241,0 | 0,41 | 7 |
| | | Kianjasoa | | | |
| Est | Est | Ivoloina | 259,1 | 0,02 | 6 |

Le tableau suivant récapitule l'appréciation de l'érodibilité selon les zones comparées entre elles :

Tableau 4 : Erodibilité des sols selon les zones

| Très faible K<0,05 | Faible 0,05<K<0,1 | Moyenne 0,1<K<0,2 | Forte k>0,2 |
|---------------------------------------|----------------------|---|----------------------------------|
| Manankazo Ampamaherana Ivoloina | | Nanisana Ambatomainty Befandriana | Nanokely Kianjasoa Miadana |

A l'issu de ces résultats, nous pouvons conclure que la gravité de l'érosion dépend autant des types de sols que des zones climatiques. Ainsi :

- ⇒ L'érodibilité est forte sous sols ferrallitiques sur basaltes de l'Ankaratra, sur sols ferrallitiques rouges du Moyen-Ouest et sur sols ferrugineux tropicaux du Nord-Ouest. A Manankazo, l'érodibilité est forte après destruction de la stabilité structurale.
- ⇒ L'érodibilité des sols est moyenne sous sols ferrugineux tropicaux du Nord-Ouest, sur sols ferrallitiques typiques rouges des Hautes Terres et sur sols ferrallitiques anciens du Moyen-Est.
- ⇒ L'érodibilité est faible sous sols ferrallitiques typiques jaunes des Hautes Terres et de la falaise orientale.

Signalons toutefois que les valeurs de l'érodibilité des sols sont très dépendantes des caractéristiques spécifiques des sols. Dans la petite région d'Avaratrambolo où les sols sont limoneux, au Nord d'Antananarivo, nous avons obtenu une valeur de 0,30 comme indice K et les valeurs de l'érosion potentielle en parcelle Wischmeier sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau n°5 : Erosion maximale à Avaratrambolo
(Projet Terre-Tany-1994)**

| Campagnes | Erosion potentielle (t/ha/an) |
|-----------|-------------------------------|
| 1990-1991 | 60 |
| 1991-1992 | 167 |
| 1992-1993 | 495 |

Pour conclure, la combinaison des valeurs de l'agressivité climatique (R) et de l'érodibilité des sols (K) nous donne la répartition suivante des zones et stations :

**Tableau n°6 : combinaison des facteurs R et K
(DRFP-CTFT-1976)**

| Erosivité R | Faible (R < 400) | Moyenne (400 < R < 600) | Forte (600 < R < 900) | Très forte (R > 900) |
|--------------------------------------|--------------------------------|--|--|------------------------------------|
| Erodibilité (K) | | | | |
| Très faible (K < 0,05) | - | Manankazo Ampamaherana | | Ivoloina |
| Faible (0,05 < K < 0,1) | | | - | |
| Moyenne (0,1 < K < 0,2) | Nanisana | Ambatomainty | | Befandriana N. |
| Forte (K > 0,2) | Nanokely | Manankazo | Kianjasoa | Miadana |

Ce tableau nous montre trois groupes de zones :

- ⇒ L'Ouest rassemble les stations de Befandriana Nord, de Miadana et de Kianjasoa. Ce sont des stations où l'érodibilité est moyenne à forte et l'érosivité moyenne à très forte. C'est donc la région la plus vulnérable à l'érosion, d'autant plus que la couverture végétale y est moins couvrante (savane herbeuse et savane boisée).
- ⇒ La zone centrale de l'île (Manankazo, Nanisana et Nanokely) où l'érosivité est faible à moyenne et l'érodibilité est moyenne à forte. C'est la zone des collines et des steppes herbeuse.
- ⇒ La zone Est a un climat très érosif mais où le sol est très faiblement érodible. On s'attend donc à un faible tonnage de perte en terre car la couverture végétale y est aussi dense. Celle-ci est représentée par Ivoloina.
- ⇒ Enfin la bordure orientale des Hautes Terres : Ampamaherana et Ambatomainty, l'érosivité des pluies est moyenne et l'érodibilité des sols très faible. C'est la zone des Hautes Terres sous influences orientales où l'érosion des sols n'est pas trop inquiétante.

2.1.2. INFLUENCES DES COUVERTS VEGETAUX ET DE LEUR DEGRADATION.

Les influences des couvertures végétales et de leurs modifications ont fait l'objet de nombreuses études en parcelles élémentaires dans différents endroits de Madagascar. Ces études, menées par le CTFT, concernent l'appréciation du ruissellement et des pertes en terres sous des conditions de couvertures naturelles et anthropiques. Des études plus récentes ont confirmé les résultats obtenus par le CTFT.

2.1.2.1. Zone des Hauts Plateaux : Manankazo

A Manankazo les recherches en parcelles élémentaires se rapportent à différents traitements des prairies naturelles et de leurs améliorations.

Tableau n°7 : Ruissellement et érosion sous différents types de traitements de prairie(DRFP-CTFT-1978)

| Traitement des parcelles | Pluie en mm | Ruissellement en mm | Ruissellement en % | Erosion en T/km2/an |
|--------------------------|-------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Prairie brûlée | 1889 | 249 | 13,2 | 0,03 |
| Prairie brûlée + bétail | 1889 | 246 | 14,1 | 0,02 |
| Prairie fauchée | 1889 | 261 | 13,8 | 0 |
| Prairie artificielle | 1889 | 105 | 5,6 | 0,4 |
| Prairie mise en défens | 1889 | 238 | 12,6 | 0 |

Ces données amènent à tirer des conclusions :

- ⇒ Le ruissellement reste toujours important dans les différents types de traitements des prairies. Le taux moyen est de 11,9% de la pluie.
- ⇒ Le brûlis suivi d'un pâturage augmente le ruissellement à cause du compactage des sols par les bœufs.
- ⇒ La prairie artificielle diminue sensiblement le ruissellement.
- ⇒ L'érosion des sols est en général faible dans les différentes parcelles. Pour la prairie artificielle les 0,4t/ha/an concerne l'année d'installation.

Ces résultats obtenus à Manankazo, au moins pour les pertes en terre, sont confirmés sur les autres stations des Hauts Plateaux par exemple à Ambatomainty :

Tableau n°8 : Ruissellement et perte en terre à Ambatomainty - Hautes Terres(DRFP-CTFT-1975)

| Station | Ambatomainty | |
|------------------------|--------------|------------------|
| | R en % | Erosion T/km2/ha |
| Prairie brûlée | 3,7 | 0,06 |
| Prairie fauchée | 1,7 | 0 |
| Prairie artificielle | 1,2 | 0,2 |
| Prairie mise en défens | 2,6 | 0 |

2.1.2.2. Zone orientale : Beforona

Le résumé des résultats obtenus par le Projet « Terre Tany » à Beforona dans le tableau suivant confirme les résultats obtenus par le DRFP dans la falaise à Périnet. Ce sont des données recueillies durant la campagne 1994-1995.

| Station | R en % | Erosion T/km2/ha |
|------------------------|--------|------------------|
| Prairie brûlée | 3,7 | 0,06 |
| Prairie fauchée | 1,7 | 0 |
| Prairie artificielle | 1,2 | 0,2 |
| Prairie mise en défens | 2,6 | 0 |

2.1.2.2. Zone orientale : Beforona

Le résumé des résultats obtenus par le Projet « Terre Tany » à Beforona dans le tableau suivant confirme les résultats obtenus par le DRFP dans la falaise à Périnet. Ce sont des données recueillies durant la campagne 1994-1995.

Tableau n°9 : Ruissellement et perte en terre sur la falaise orientale(Terre-Tany-1996)

| Parcelles | P(mm) | Erosion (kg/ha) | Ruissellement (mm) | CR (%) | Pente (%) |
|-------------------|--------|-----------------|--------------------|--------|-----------|
| Forêt naturelle | 1808,8 | 9,8 | 13,7 | 0,8 | 50 |
| Savane à graminée | 1968,6 | 817,2 | 158,4 | 8,0 | 50 |
| Savoka | 2603,6 | 367 | 142,4 | 5,5 | 30 |
| Tavy | 2603,6 | 14568 | 571,3 | 21,9 | 30 |
| Nue | 2603,6 | 149024 | 681,6 | 26,2 | 30 |
| Gingembre | 2603,6 | 143979 | 542,2 | 20,8 | 30 |

On remarque que :

La forêt naturelle réduit nettement l'érosion des sols avec 10kg/ha/an. Le coefficient de ruissellement n'est que de 0,8% contre 21,9% sous cultures sur brûlis.

L'érosion et le ruissellement sous savoka sont relativement faibles et tolérables avec un coefficient de ruissellement de 5,5% et une perte en terre de 0,4t/ha/an. En effet, les formations végétales secondaires couvrent parfaitement les sols (Savoka à *Psiadia altissima*, à *Rubus molucana*, à *Lantana camara* où savoka multispécifique).

Sous cultures sur brûlis, le ruissellement et les pertes en terre sont relativement importants si on les compare avec les données obtenues par CTFT à Ivoloïna (station côtière.). Toutefois il faut signaler que l'érosion sous cultures sur brûlis diminue rapidement par la mise en jachère de la parcelle. Par exemple, une année de culture suivie de deux ans de jachère donne en moyenne 4t/ha/an (Terre-Tany, 1996).

Tableau n°10 : Ruissellement et perte en terre moyen de 1967 à 1972 à Ivoloïna (DRFP-CTFT1975)

| | Savoka | Culture sur brûlis |
|--------------------------------|--------|--------------------|
| Ruissellement (mm) | 272,6 | 441,5 |
| Ruissellement (en %) | 9,5 | 15,8 |
| Perte en terre(t/ha/an) | 0,06 | 1,40 |

A Beforona, l'expérience de Terre Tany a démontré que la perte en terre la plus importante se retrouve sous parcelle nue (150t/ha/an) et sous parcelle de culture de gingembre (144t/ha/an). Pour la parcelle nue, l'explication réside dans le fait où la végétation protectrice a été décapée. Pour les parcelles de gingembre, l'érosion est plus ramassée (par rapport à la parcelle nue) à cause de la couverture du sol par les plantes et la fixation des sols par les rhizomes

2.1.2.3. Zone Moyen Ouest : Kianjasoa

Dans la station de Kianjasoa, dans le Moyen-Ouest malgache les expérimentations se portent sur les impacts de quelques traitements de la prairie sur le ruissellement et l'érosion des sols. Les expérimentations du CTFT et du DRFP se portent sur 5 parcelles :

- Parcelle 1 = Wischmeier
- Parcelle 2 = Stylosanthes fauchée
- Parcelle 3 = Prairie fauchée
- Parcelle 4 = Prairie brûlée
- Parcelle 5 = Prairie en défens

Tableau n°11 : Erosion et ruissellement sous différents types de traitements des parcelles à Kianjasoa de 67 à 68(DRFP-CTFT-1975)

| Année | P(mm) | Parcelle 2 | | Parcelle 3 | | Parcelle 4 | | Parcelle 5 | |
|----------------|---------------|--------------|------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|
| | | R(mm) | R (%) | R(mm) | R (%) | R(mm) | R (%) | R(mm) | R (%) |
| 67-68 | 1574,5 | 34,05 | 2,2 | 66,48 | 4,2 | 139,12 | 8,8 | 179,72 | 11,4 |
| 68-69 | 1825,4 | 5,46 | 0,3 | 51,31 | 2,8 | 70,82 | 3,9 | 98,69 | 5,4 |
| 69-70 | 1453,1 | 3,23 | 0,2 | 62,23 | 4,3 | 122,87 | 8,5 | 114,48 | 7,9 |
| 70-71 | 1675,8 | 41,42 | 2,5 | 171,34 | 10,2 | 260,24 | 15,5 | 204,93 | 12,2 |
| 71-72 | 1681,3 | 2,58 | 1,2 | 33,42 | 2,0 | 112,02 | 6,7 | 72,20 | 4,3 |
| 72-73 | 1808,4 | 1,63 | 0,1 | 67,57 | 3,8 | 144,35 | 8,0 | 106,69 | 5,9 |
| Moyenne | 1669,9 | 14,73 | 0,9 | 75,46 | 4,5 | 141,57 | 8,5 | 129,45 | 7,8 |

Tableau n°12 : Perte en terre annuelle moyenne(T/ha/an) de 1967 en 1973 à Kianjasoa(DRFP-CTFT-1975)

| Parcelle | Erosion en T/ha/an | | | | | | Total |
|-------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | 67-68 | 68-69 | 69-70 | 70-71 | 71-72 | 72-73 | |
| Stylosanthes | 3,39 | 0,13 | 0,11 | 0 | 0 | 0 | 3,63 |
| Prairie fauchée | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,05 |
| Prairie brûlée | 0,90 | 0 | 0,34 | 1,20 | 0,37 | 0,19 | 3,00 |
| Prairie mise en défens | 2,41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,41 |

Ces chiffres nous montrent d'une façon générale le rôle anti-érosif d'une prairie artificielle de stylosanthes même fauchée. Comme nous l'avons aussi constaté dans les stations des Hautes Terres, la mise en défens ne diminue pas effectivement le ruissellement. Les taux de ruissellement sous prairie mise en défens et brûlée sont sensiblement égaux. Le fauchage des herbes permet aussi la diminution du ruissellement.

- ⇒ L'efficacité d'une couverture permanente du sol par le stylosanthes sur le ruissellement est acquise au fur et à mesure que la couverture s'installe : 2,2% de ruissellement en première année contre 0,1 % après six ans. La mise en place de la plante de couverture (travail du sol) occasionne cependant des pertes en terre assez considérables.
- ⇒ Le ruissellement reste faible quels que soient les traitements appliqués aux prairies : le coefficient de ruissellement est de 4,5%, 8,5% et 7,8% respectivement pour la parcelle fauchée, brûlée et mise en défens.
- ⇒ Le brûlis des prairies entraîne une perte en terre non moins importante. Pour les deux autres traitements (mise en défens et fauchée) les pertes en terre s'annulent au fur et à mesure que la végétation se densifie.
- ⇒ La mise en place d'une prairie artificielle entraîne une perte en terre importante la première année (effet du labour). Mais après trois ans, la perte en terre devient insignifiante.

2.1.2.4.Zone Nord-Ouest : Miadana

A Miadana les protocoles expérimentaux en parcelles élémentaires, de 1971 à 1973, sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau n°13 : Miadana, traitements des parcelles
(1970-1973) DRFP-CTFT-1975**

| Parcelles | Traitements | Surface (m2) | Pente en % |
|-----------|--|--------------|------------|
| 1 | Prairie dégradée brûlée | 200 | 10 |
| 2 | Prairie très dégradée mise en défens | 200 | 10 |
| 3 | Prairie peu dégradée brûlée | 200 | 7,5 |
| 4 | Prairie peu dégradée mise en défens | 200 | 8,2 |
| 5 | Prairie peu dégradée améliorée par introduction de stylosanthes en plein | 200 | 3,1 |
| 6 | Prairie peu dégradée améliorée par introduction de stylosanthes en bande | 200 | 3,05 |
| 7 | Parcelle de Wischmeier. | 100 | 4,3 |

Les expérimentations se portent sur les quelques états de la prairie naturelle ainsi que sur ses modifications par brûlis et mise en défens. Elles ont pour objectif de faire ressortir les influences des améliorations par enrichissement (Stylosanthes).

Les résultats ci-après sont relatifs aux trois campagnes d'observation de 1970-1971, 1971-1972 et 1972-1973.

Tableau n°14 : Ruissellement à Miadana(DRFP-CTFT-1975)

| Année | Pluie en mm | R | Parcelles | | | | | |
|-------|-------------|----|-----------|--------|--------|-------|--------|-----------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 70-71 | 1506,7 | mm | 841,4 | 624,3 | 854,1 | 473,1 | 455,0 | 318,6 |
| | | % | 55,8 | 41,4 | 56,7 | 31,0 | 30,2 | 21,1 |
| 71-72 | 2352,3 | mm | 1397,2 | 1255,4 | 1312,2 | 757,0 | 1164,2 | 1422,1 |
| | | % | 59,4 | 53,4 | 55,8 | 32,2 | 49,5 | 3 60,1 |
| 72-73 | 1606,0 | mm | 845,3 | 546,7 | 706,4 | 153,0 | 38,7 | 546,5 |
| | | % | 52,6 | 34 | 44,0 | 9,5 | 2,4 | 34,0 |

Notons de premier abord la grande variabilité de la pluviométrie. La campagne 71-72 a été marquée par le passage d'une dépression tropicale. Concernant le ruissellement on peut noter :

- ⇒ Le ruissellement est maximum sous les parcelles brûlées (1 et 3) quelques soient leurs états initiaux.
- ⇒ En troisième année, on a enregistré des taux de ruissellement faibles dans les parcelles à prairie améliorée par introduction de stylosanthes en plein (5) et dans la parcelle mise en défens (4).

⇒ Les parcelles non améliorées maintiennent des taux de ruissellement assez élevés. De même pour la parcelle améliorée par introduction de stylosanthes en bande.

⇒ Les parcelles 3 et 4 montrent une diminution constante du ruissellement

En ce qui concerne le nombre de ruissellement par tranche de coefficient (campagne 70-71), on remarque que :

Tableau n°15 : Classement des ruissellements par tranche à Miadana(DRFP-CTFT-1975)

| Parcelles | Taux de ruissellement (nombre) | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | <10% | | 10-20% | | 20-40% | | >40% | |
| | 70-71 | 72-73 | 70-71 | 72-73 | 70-71 | 72-73 | 70-71 | 72-73 |
| 1 | 8 | 2 | 5 | 2 | 10 | 6 | 32 | 28 |
| 2 | 17 | 8 | 9 | 9 | 14 | 11 | 15 | 13 |
| 3 | 11 | 2 | 3 | 5 | 13 | 4 | 31 | 20 |
| 4 | 16 | 19 | 12 | 5 | 11 | 9 | 7 | |
| 5 | 21 | 32 | 3 | 4 | 8 | 2 | 10 | |
| 6 | 22 | 4 | 7 | 5 | 7 | 8 | 3 | 21 |

⇒ Les forts taux de ruissellement se retrouvent dans les parcelles non améliorées (1 et 3).

⇒ La parcelle labourée en bande (6) montre le plus faible en nombre de ruissellement durant la première année. Mais en troisième année, on assistait à une reprise du ruissellement à fort coefficient.

⇒ Pour les parcelles améliorées par introduction de stylosanthes en bande ou en plein les ruissellements à faible taux prédominent.

⇒ Après trois ans de mise en défens et d'installation de stylosanthes en plein les ruissellements excédant 40% sont éradiqués.

Tableau n° 16 : Perte en terre en t/ha à Miadana sous différents traitements des prairies(DRFP-CTFT-1975)

| Parcelles | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------|------|------|-------|-----|------|-----|
| 1970-1971 | 43,7 | 7,9 | 16,7 | 1,9 | 12,1 | 0,5 |
| 1971-1970 | 40,7 | 3,2 | 1,9 | 0,3 | 0,9 | 0,9 |
| 1971-1972 | 15,6 | 0,8 | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,6 |
| somme | 99,8 | 11,9 | 19,93 | 2,3 | 13,0 | 2,0 |

Les valeurs des pertes en terre mentionnées dans le tableau ci-dessus nous montrent l'importance de la prairie enrichie (introduction de stylosanthes) et de la prairie mise en défens en matière de la lutte contre l'érosion des sols. En effet, dès la deuxième année, l'érosion est presque nulle.

La parcelle très dégradée et brûlée (1) donne le taux d'érosion le plus important, dix fois supérieur aux parcelles mises en défens et améliorées. Dans la parcelle (2), très dégradée et puis mise en défens l'érosion est en constante diminution.

2.1.3. BILAN DE L'EAU A LA PARCELLE.

Des bilans de l'eau au sol ont été mesurés en lysimètre par le CTFT, et l'IRAM dans quelques station des Hauts-Plateaux durant la campagne 73-74 à Ambatomainy et Manankazo. On a aussi fait des analyses chimiques des percolats. Ce sont des lysimètres monolithes (modèle Roose) de 63,6 centimètres de diamètre. Les lysimètres reçoivent la quantité de pluie mesurée aux pluviomètres d'accompagnement, diminuée du ruissellement recueilli dans la parcelle d'érosion de même traitement voisine.

Tableau n°17 : Expérimentation en lysimètre à Ambatomainy et Manankazo (DRFP-CTFT-1977)

| N° du lysimètre | Ambatomainy | Manankazo |
|-----------------|--|---|
| 1 | Sous prairie naturelle à 1m | Sous végétation naturelle à 1m |
| 2 | Sous prairie naturelle à 1m | Sous végétation naturelle à 1m |
| 3 | Sous prairie artificielle à Brachiaria et Chloris à 1m | Sous sol nu à 1m |
| 4 | Sous prairie artificielle à Brachiaria et Chloris à 1m | Sous sol nu à 1m |
| 5 | | Sous prairie artificielle de Brachiaria à 1m |
| 6 | | Sous prairie artificielle de Brachiaria à 1m |
| 7 | | Sous prairie artificielle de Brachiaria 1,50m) |
| 8 | | Sous prairie artificielle de Brachiaria (1,50m) |
| 9 | | Lysimètre avec tube à 2m |
| 10 | | Lysimètre sans fond à 2m |

Les résultats touchent la pluviométrie totale mensuelle et la quantité des eaux de drainage (eaux qui passent à travers les lysimètres aux fonds des appareils) :

Tableau n°18 : Drainage à Ambatomainty sous prairie naturelle et artificielle(DRFP-CTFT-1977)

| | Pluviométrie | Drainage | |
|---------------|---------------|--------------|------------------------|
| | | Témoins | Sous prairie améliorée |
| Novembre 1973 | 159,0 | 10,9 | 30,9 |
| Décembre 1973 | 316,6 | 140,9 | 216,4 |
| Janvier 1974 | 110,4 | 62,5 | 83,0 |
| Février 1974 | 209,6 | 94,1 | 132,5 |
| Mars 1974 | 121,1 | 62,6 | 77,7 |
| Avril 1974 | 134,8 | 66,3 | 79,6+ |
| Total | 1051,5 | 437,3 | 620,1 |

Les différences sont significatives entre le drainage sous parcelle témoin et celui de la parcelle à prairie artificielle. L'infiltration et le drainage sous prairie améliorée (59% de la pluviométrie) sont beaucoup plus importants que sous prairie non améliorée (42% de la pluviométrie).

Les résultats d'analyses des eaux de drainage montrent pour les deux traitements :

- ⇒ la faible teneur en N des eaux de drainage,
- ⇒ l'importance du lessivage de Ca avec (25 à 30kg/ha),
- ⇒ les pertes en K et Mg sous témoins sont également de faible quantité malgré l'importance des eaux de drainage,
- ⇒ la fertilisation de la prairie artificielle enrichit le percolat en éléments nutritifs surtout en Ca et K.

Tableau n°19 : Lessivage des éléments nutritifs des sols (kg/ha) sous prairie naturelle et prairie artificielle(DRFP-CTFT -1977)

| | N totale | N minérale | K | Ca | Mg |
|----------------------|----------|------------|------|------|-----|
| Témoin | 1,3 | 0,9 | 5,5 | 25,8 | 1,7 |
| Prairie artificielle | 5,0 | 4,4 | 15,4 | 28,6 | 2,1 |

A Manankazo les résultats se présentent comme suit :

Tableau n°20 : Drainage sous différents types de prairie à Manankazo (DRFP-CTFT-1977)

| | Pluie en mm | Drainage | | | |
|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Témoin | Sol nu | Prairie à 1m | Prairie à 2m |
| Novembre 1973 | 179,5 | 7,5 | 20,1 | 20,1 | 30,9 |
| Décembre 1973 | 349,7 | 124,8 | 275,0 | 275,0 | 273,3 |
| Janvier 1974 | 357,3 | 134,8 | 297,3 | 297,3 | 254,0 |
| Février 1974 | 266,6 | 121,1 | 272,7 | 209,2 | 177,0 |
| Mars 1974 | 223,6 | 100,4 | 223,3 | 181,2 | 133,3 |
| Avril 1974 | 302,6 | 108,9 | 202,7 | 221,9 | 153,4 |
| Total | 1679,3 | 597,5 | 1291,1 | 1204,7 | 1021,9 |

Par rapport à la pluviométrie, le drainage est de 36% sous condition témoin, 77% sous sol nu, 72% sous prairie de Brachiaria à 1m et 60% sous prairie de Brachiaria à 2m. On remarque le très faible taux de drainage sous prairie naturelle (témoin). Il n'existe pas de différence notable entre sol nu et sol sous prairie artificielle. La différence de drainage entre 1m et 2m sous prairie artificielle s'explique par l'évapotranspiration et la rétention des eaux par capillarité entre ces deux niveaux.

Tableau n°21 : Lessivage sous différents types de traitements des prairies (DRFP-CTFT-1977)

| | N total | N minéral | K | Ca | Mg |
|--|---------|-----------|------|------|-----|
| Témoin (1m) | 0,9 | 0,8 | 6,6 | 7,3 | 2,5 |
| Prairie de Brachiaria fertilisée (1m) | 49,6 | 46,9 | 85,0 | 34,9 | 9,7 |
| Prairie de Brachiaria fertilisée (2m) | 22,8 | 21,3 | 31,5 | 34,0 | 5,2 |

Le lessivage des nutriments sous parcelle témoin est faible. Au contraire sous prairie fertilisée et à 1m du sol, on a une forte concentration en nutriments. La lixiviation du Potassium est particulièrement importante. Les pertes par lessivage sont plus graves à Manankazo qu'à Ambatomainty à cause du fort pourcentage de drainage à Manakazo.

Conclusion

Les résultats de recherches en parcelles d'érosion élémentaires concernant les influences du couvert végétal et leurs modifications nous ont montré les faits suivants :

1. Le ruissellement et l'érosion des sols sont relativement faibles sous prairie naturelle non dégradée. Ceux-ci augmentent très rapidement dès que la couverture végétale est brûlée.
2. La mise en défens des prairies contribue efficacement à la lutte anti-érosive mais elle ne diminue pas pour autant le ruissellement.
3. L'amélioration des prairies naturelles par l'introduction ou enrichissement en espèces couvrantes contribue également à la diminution du ruissellement et de l'érosion des sols.
4. La prairie artificielle et mise en défens améliore le régime hydrique des sols en augmentant l'infiltration et le drainage.

Ces résultats de recherches bien qu'assez significatifs, sont souvent critiqués par différentes raisons.

L'extrapolabilité de ces résultats est très limitée à cause des caractéristiques même de la méthode des parcelles :

- Superficie trop réduite (100 à 200m²) ne reflétant pas la réalité des parcelles paysannes.
- L'érosion des sols varie selon la localisation sur les versants, quelque soit les traitements appliqués. Elle est souvent plus intense en bas de pente.

- La pente dans la parcelle d'érosion est uniforme, ce qui n'est pas le cas dans les champs des paysans.

Bien que chaque zone agroclimatique de Madagascar est représentée par une station d'observation de l'érosion, la représentativité de certaines de ces stations est encore douteuse. Par exemple, la station de Manakazo, bien que située sur les Hautes Terres, ne représente effectivement que les Hauts Plateaux du Tampoketsa d'Anjazobe. Ce dernier a plutôt une vocation d'élevage que d'agriculture.

2.1.4. EFFETS DES SUCCESSIONS DE CULTURES ET DES DIFFERENTES TECHNIQUES CULTURALES

Beaucoup de recherches ont été investies dès les années 50 pour proposer des pratiques culturales et des techniques anti-érosives adaptées aux conditions naturelles de Madagascar. Des résultats intéressants ont été obtenus et vulgarisés. Actuellement ont met surtout l'accent sur les questions de fertilité des sols (amélioration et maintenance de la fertilité) et des techniques culturales.

Les méthodes de lutte anti-érosives menées par le Service des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols dès le début ont prévu de renforcer les interventions mécaniques par des interventions biologiques. Les pratiques culturales telles que les rotations de cultures, fumures et couvertures permanentes des sols ont été vulgarisées après la mise en place des réseaux de DRS.

Les méthodes de lutte mécanique se sont référées aux connaissances déjà acquises ailleurs aux Etats-Unis et en Afrique. Toutefois, ces méthodes ont été également adaptées aux conditions naturelles de Madagascar. La première démarche a été de subdiviser l'île en des zones d'érosion au temps du CTFT (B.Souchier 1960). Cette zonation permet d'adapter les dimensions des dispositifs anti-érosifs selon l'agressivité climatique. Ainsi, on a obtenu quatre zones d'intensité pluviométriques horaires à Madagascar (B. Souchier -1964):

Zone 1 : 160mm/h

Zone 3 : 90mm/h

Zone 2 : 110mm/h

Zone 4 : 60mm/h

A partir de cette zonation et selon les pentes locales on a pu établir des abaques donnant les dimensions des canaux et autres réseaux de DRS dans chaque zone d'érosion.

2.1.4.1. Les dispositifs de Défense et Restauration des Sols (DRS)

On peut classer en deux catégories les dispositifs anti-érosifs autrefois adoptés à Madagascar, selon les pentes du terrain à protéger :

- Pour les pentes inférieures à 12%, on a proposé des dispositifs permettant de limiter les actions érosives des eaux de ruissellement par des lignes isohypses d'absorption totale ou des fossés de diversion des eaux en amont des champs.

Entre ces lignes, suivant les courbes de niveau se trouvent les terrains de cultures sèches.

Pour l'espacement I de ces ouvrages, à Madagascar on a surtout utilisé la formule de Ramser :

$$I = 0,603 + 0,076 P \text{ (où } P \text{ est la pente en \%)}$$

- Pour des pentes supérieures à 12%, classées comme des terrains de protection, on a proposé de faire des reboisements et des réseaux de banquettes de défense et de restauration des sols. Les objectifs des banquettes étaient de rompre la vitesse des eaux de ruissellement et de canaliser les eaux superflues vers des exutoires. Il existe plusieurs types de banquettes dont l'utilisation dépend aussi des conditions locales (pente, pluviométrie). La longueur maximale des banquettes conseillée est de 200m. Les dimensions des ouvrages sont données par des abaques spécifiques par zone d'érosion. Dans ces abaques on a directement pour sept intervalles de pente entre 12% et 80% :

- L'intervalle vertical entre les banquettes (en m)
- L'intervalle horizontal moyen (en m)
- Le type de banquette adapté
- La largeur des banquettes (en m) :
 - sur terrain érodé
 - sur terrain en bonne couverture
- La hauteur minima du bourrelet (en m)
- La pente en long des banquettes (en %)

Il a été conseillé de renforcer ces dispositifs mécaniques par des dispositifs biologiques complémentaires. Ces derniers concernent la plantation de haies vives fixatrices sur les bourrelets et ados des banquettes. Les espèces souvent utilisées ont été : *Pennisetum kizosi*, *Tephrosia*, *Cajanus*, *ananas*... A l'intérieur des champs, on adopte des techniques culturales permettant de limiter la dégradation des sols.

2.1.4.2. Les pratiques culturales

Dès les années cinquante on a cherché les pratiques culturales qui permettent d'augmenter le rendement des cultures sèches et de limiter l'érosion des sols. Parmi ces pratiques l'accent a été mis sur la rotation culturale, la fertilisation organique et les jachères améliorées.

2.1.4.2.1. Rotation culturale, fertilisation

A Nanisana l'expérimentation sur les rotations culturales s'est portée sur la rotation : Pommes de terre(1) - Arachides(2) - Maïs + Pois mascate (3)- Prairie temporaire (4) - Prairie 2ème année (5). De même, on a observé les effets des méthodes culturales à plat et en billons. Les résultats montrent que :

Tableau n°23 : Erosion et ruissellement moyen sous rotation culturale et selon les méthodes de cultures Nanisana (58-63)(CTFT-IRAM - 1968)

| Culture | Culture à plat | | | Culture en billons | | | | |
|-------------------------|----------------|------|------|--------------------|------|-----|------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Erosion moyenne (T/ha) | 5,1 | 12,3 | 19,1 | 4,2 | 4,1 | 3,9 | 16,1 | 0,1 |
| Ruissellement moyen (%) | 9,2 | 11,8 | 11,5 | 8,3 | 11,4 | 7,5 | 14,7 | 0,7 |

- L'arachide et le maïs à plat occasionnent les plus forts ruissellements.
- Les cultures en billons réduisent énormément l'érosion des sols et le ruissellement.
- Durant la campagne 62-63, le maïs en association avec pois mascate à plat a occasionné le départ de 60t/ha.
- Sous prairie de 2ème année, l'érosion est abaissée à 0,1t/ha. La première année de plantation cette érosion a été de 16,1t/ha.

A Ambatondrazaka au Lac Alaotra, zone d'intense érosion hydrique la rotation culturale qui intègre deux à trois années de prairie artificielle suivante est retenue :

Première année : arachides

Deuxième année : légumineuse à graine

Troisième année : plante sarclée : manioc, maïs

Quatrième et cinquième et sixième année : prairie artificielle temporaire à Chloris ou prairie naturelle à Cynodon.

Les données suivantes montrent également l'importance d'une prairie temporaire sur le ruissellement et la lutte anti-érosive dans la rotation culturale :

Tableau n°22 : Ruissellement et érosion sous différentes rotations culturales à Ambatondrazaka (53-59) (CTFT-IRAM-1968)

| Période 1953-1959 Pluie : 5464mm | Erosion T/ha/an | Ruissellemen t moyen en % | Ruissellement moyen en mm |
|--|--------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1ère rotation (5ans) : Arachides-engrais vert- Manioc-Fourrage | 15,6 | 9,6 | 113 |
| 2è rotation (4ans) : Arachides-engrais vert-Maïs- Fourrages | 12,1 | 8,3 | 90 |
| 3è rotation (4ans) : Arachides-Prairie temporaire | 7,71 | 6,9 | 75 |

La première rotation donne deux fois plus d'érosion que la troisième rotation à prairie temporaire.

Dans la région de Tampoketsa à la station de Manankazo, la rotation suivante a été adoptée et a donné de bons résultats tant du point de vue rendement que lutte anti-érosive. Cette rotation a été appliquée dans le bassin versant aménagé dont nous verrons les données sur le ruissellement, l'érosion et sur le bilan de l'eau dans le chapitre suivant.

1ère année : Pomme de terre

2ème année : Maïs

3ème année : Légumineuse (ou engrais vert)

4ème année : Maïs

5ème 6ème et 7ème année : Prairie artificielle de Melinis + Légumineuse (desmodium intotum)

Avec apport de :

- * 500kg de Dolomie en tête d'assolement
- * 30 t de fumier en tête d'assolement et sur le maïs de 4è année
- * de la fumure d'entretien

De même à Manankazo, il s'avère utile d'apporter en trois ans aux sols de cultures une fertilisation adaptée pour démarrer les cultures et pour soutenir les rendements. Cette fertilisation de redressement est composée à l'hectare de :

- tonnes de dolomie
- Unités de P_2O_5
- Unités de K_2O

Pour l'ensemble des Hautes Terres, la fertilisation optimum des sols, en vue d'augmenter le rendement et d'améliorer la qualité physique des sols, sans tenir compte des contraintes socio-économiques, est constituée de :

- 500 à 2000kg de dolomie pour corriger l'acidité des sols . Un apport d'entretien de 250 à 500kg/an est nécessaire.
- Apport de fumier bien décomposé, 5 à 10t/ha par culture.
- Apport de phosphore en fumure de fond avec 300 à 400kg/ha P_2O_5 60kg P_2O_5 par an en entretien.
- Apport d'azote de 60 à 120 unités suivant les cultures.

2.1.4.2.2. Billonnage

Les données suivantes, dont les chiffres sont assez significatifs, concernent les effets des billons sur le ruissellement et l'érosion des sols. C'est une expérimentation menée à Nanokely dans le Vakinankaratra sur la culture de pomme de terre. On peut remarquer que dès la première année la différence va du simple au double à l'avantage des billons suivant les courbes de niveau. A la deuxième année, la différence s'est encore creusée jusqu'à dix fois et plus.

Tableau n°24 : Erosion (T/ha) sous différentes techniques de billonnage (CTFT-IRAM -1968)

| Campagne | Billons traditionnels | Billons suivant courbes de niveau |
|--------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 60-61 | 29,5 | 13,4 |
| 61-62 | 14,7 | 0,7 |

Nos propres observations démontrent également l'importance du billonnage dans la lutte contre l'érosion. Nous avons obtenu un tonnage de 0,7t/ha sur une parcelle d'érosion cultivée de maïs en billons sur un terrain de 8% de pente. Tandis que sous une culture à plat de maïs l'érosion est de 10t/ha (Terre-Tany, Avaratrambolo - 1994).

2.1.4.2.3. Couverture des sols

Actuellement, des expérimentations en matière de couverture des sols sont en cours pour la sélection des espèces couvrantes et adaptées aux conditions naturelles des Hautes Terres Malgaches. Cette technique a pour objectif de restauration et de la conservation des sols et des eaux. Des espèces sont prometteuses dans ce sens :

- *Cassia rotundifolia*
- *Arachis pintoï*
- *Lotus uliginosus*
- *Trifolium semipilosum*
- *Desmodium uncinatum*

Des espèces de jachère améliorée sont aussi sélectionnées pour les Hautes Terres :

- *Tephrosia vogelii*
- *Crotalaria grahamiana*
- *Mimosa invisa, Mucuna utilis, Pueraria javanica, Desmodium intortum et uncinatum, Phaseolus lunatus, Lablab purpurea*
- *Melinis minutiflora, Chloris gayana, Brachiaria spp.*

2.1.4.2.4. Utilisation des résidus de cultures et date de labour

A Ampangabe, près de Tananarive, une autre expérience relative à la l'utilisation des résidu de maïs à été menée en parcelle d'érosion. L'expérimentation consiste à voir l'influence de l'exportation, du brûlis et de l'enfouissement des résidus de maïs après la culture. On a aussi observé les effets de la date de labour.

- Parcelle 1 : labour juin** : Exportation des résidus de récolte
- Parcelle 2 : labour juin** : Brûlis
- Parcelle 3 : labour juin** : Enfouissement
- Parcelle 4 : sans labour** : Exportation des résidus de récolte

- Parcelle 5 : sans labour : Brûlis
- Parcelle 6 : sans labour : Enfouissement
- Parcelle 7 : labour Octobre : Exportation des résidus de récolte
- Parcelle 8 : labour Octobre : Brûlis
- Parcelle 9 : labour Octobre : Enfouissement

Les résultats présentés dans le tableau suivant révèlent :

Tableau n°25 : Erosion et ruissellement selon la date de labour et l'utilisation des résidus de culture (DRFP-1977)

| Parcelles | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R(mm) | | | | | | | | | |
| E(t/ha) | 2,8 | 3,68 | 4,11 | 4,69 | 2,46 | 0,22 | 6,62 | 3,66 | 4,41 |

- l'exportation des résidus de cultures, sauf pour le labour de juin augmente le ruissellement et l'érosion.
- Le labour octobre entraîne une forte érosion des sols par rapport aux autres moments de labour
- L'enfouissement des résidus de cultures ralentit le ruissellement et réduit l'érosion des sols.

2.1.4.3. Alternatives aux cultures sur brûlis

Dans la zone forestière, sur la falaise orientale, des recherches ont été menées pour limiter les dégâts causés par l'érosion des sols lors des cultures sur brûlis, la dégradation des sols par lessivage et la lutte contre les adventices.

En matière de lutte anti-érosive, on peut citer quelques méthodes

2.1.4.3.1. Andains

La méthode des andains a été testée en bassin versant. Le dispositif est constitué de trois bassins versants dont :

1. = forêt secondaire, laisser en témoin
2. = défriché, puis la végétation a été rassemblée en andains disposés suivant les courbes de niveau et distants de 8m suivant la pente en moyenne. Entre les andains, le sol a été dessouché, débarrassé de la végétation herbacée et ensemencé de riz.
3. = défriché, brûlé et semis selon les méthodes traditionnelles.

Les effets des andains se répercutent sur le ruissellement dans le bassin versant selon les tableaux suivants :

**Tableau n°26 : Influence des andains sur le ruissellement
à Périnet(CTFT - 1973)**

| | 1 | 2 | 3 |
|---|--------|-----------|--------------|
| Pointe de crue | 1 | 1,25 | 1,36 |
| Coefficient de ruissellement global | 1(36%) | 1,17(43%) | 1,54 (56,5%) |
| coefficient de ruissellement maximum | 1 | 1,14 | 1,41 |

2.1.4.3.2. Les Haies vives

A Beforona, les recherches sur les haies vives constituées d'arbustes tel que *Gliricidia sepium* et *Flemingia congesta* ont donné des résultats satisfaisants en matière de lutte contre l'érosion sur la falaise orientale.

Des lignes de *Gliricidia sepium* distancées de 8m sur la pente et suivant les courbes de niveau ont été testées en parcelle élémentaire, comparées avec des parcelles témoins. Les résultats sont significatifs avec 0t/ha d'érosion sur parcelle plantée de haies vives contre 14t/ha sur parcelle témoin sous cultures sur brûlis (DRFP-1985).

2.1.4.3.3. L'embroussaillage

Toujours à Beforona, on a constaté également que l'enrichissement de la jachère naturelle par *Grevillea banksii* permet de lutter efficacement contre l'érosion mais également de fournir une biomasse importante à la parcelle.

Dans le cadre des recherches d'alternatives au système de "tavy" des observations ont été faites pour sélectionner des arbres à usages multiples adaptés aux conditions de la falaise orientale. Ainsi, quelques espèces sont présélectionnées pour leur adaptation :

Tableau 27: Quelques espèces prometteuses en Agroforesterie sur la falaise orientale(DRFP-1988)

| Espèces végétales | Possibilités d'utilisation |
|-----------------------------|---|
| Albizia stipitata----- | <i>Production de biomasse pour paillage. Haies vives, production de biomasse, bois de chauffe</i> |
| Calliandra calothyrsus----- | <i>Haie vives anti-érosives Jachère améliorée</i> |
| Gliricidia sepium----- | <i>Haies vives anti-érosives</i> |
| Tephrosia vogelii----- | <i>Jachère améliorée</i> |
| Flemengia congesta----- | <i>Haies vives anti-érosives</i> |
| Cassia siamea----- | <i>Production de bois de chauffe,</i> |
| Grevillea banksii----- | <i>Mixed system</i> |

Conclusion

Les recherches des techniques et pratiques culturales, afin de limiter l'érosion des sols et en même temps d'augmenter le rendements des cultures sèches à Madagascar ont débouché sur quelques points essentiels :

- Les techniques de conservation des sols et des eaux adaptées aux conditions topographiques, pédologiques et climatiques sont acquises.
- Des efforts ont été menés pour marier conservation et production. C'est dans ce sens que des actions sont orientées pour déterminer les pratiques culturales (rotation culturale, fertilisation, couverture des solset travaux minimum avec semis direct) adaptées aux conditions naturelles et socio-économiques de Madagascar. Beaucoup de ces techniques sont actuellement dépassées par les conditions socio-économiques, mais elles ont apporté des enseignements indispensables :

- Nécessité d'introduire dans la rotation culturale 2 à 3 ans de prairie artificielle ou une jachère améliorée sur les Hautes Terres
- Les avantages des cultures suivant les courbes de niveau quelles que soient les pentes du terrain
- La nécessité d'apporter une fertilisation de fond et d'entretien sur les sols ferrallitiques des Hautes Terres.

Comme la plupart des recherches « exploratoires » et en milieu contrôlé, on a souvent omis d'évaluer les portées socio-économiques de ces recherches. Ainsi, beaucoup de ces résultats obtenus ne sont pas toujours adaptés aux conditions socio-économiques. S'ils étaient adaptés dans le temps, ils sont actuellement dépassés par la situation.

Par exemple, on se demande si les apports en engrais chimiques et en fumier proposés par le CTFT dans les expérimentations de Manankazo avaient eu des « adopteurs », même si ces produits étaient encore moins chers qu'actuellement.

Des efforts doivent être actuellement portés sur la gestion agro-biologique des sols sous toutes les latitudes de Madagascar. Ces techniques (plante de couverture, paillage, jachère améliorée, utilisation de compost, minimum travail du sol...) bien que moins performante (en rendement) par rapport aux techniques de fertilisation chimique

intensive, ont des atouts de passage au niveau des paysans car elles sont moins coûteuses et utilisent les ressources locales.

2.2. SUIVIS DE BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX

Des observations en bassins expérimentaux ont été aussi menées dans différentes stations du CTFT puis du FOFIFA. Ces études se portent surtout sur les influences des couverts végétaux naturels et des pratiques culturales sur le ruissellement, l'érosion et les bilans de l'eau. La carte (n°) montre la répartition des bassins versants expérimentaux suivi par le CTFT et autres organisme de recherche.

2.2.1. ZONES DES HAUTS PLATEAUX

2.2.1.1. Hautes Terres centrales : Manankazo

A Manankazo, les expérimentations ont commencé en 1963. Ces études se rapportent à la quantification du ruissellement et des pertes en terre en petits bassins versants en fonction des différents types d'utilisation.

Tableau n°28 : Expérimentations en Bassin versant à Manankazo (depuis 1962)

| Bassins versants | Surfaces (ha) | Pente moyenne | Traitements |
|------------------|---------------|---------------|--|
| BV1 | 3,18 | 12% | Témoin mis en défens |
| BV2 | 4,77 | 12% | Aménagement rationnel (Cultures suivant les lignes isohypse, fossés de protection, rotations culturales) |
| BV3 | 3,17 | 12% | Prairie naturelle brûlée tous les deux ans |
| BV4 | 3,90 | 12% | Reboisement de Pins (plantation après sous-solage) |

Ruissellement superficiel

Tableau n°29 : ruissellement superficiel à Manankazo moyenne annuelle (15 années d'observation) (DRFP-CTFT 1978)

| P(mm) | BV1 | | | BV2 | | | BV3 | | BV4 | | |
|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|
| | A(mm) | B(%) | C(%) | A(mm) | B(%) | C(%) | A(mm) | B(%) | A(mm) | B(%) | C(%) |
| 1807 | 122,9 | 6,8 | 51,7 | 47,3 | 2,6 | 19,9 | 237,6 | 13,1 | 33,5 | 1,9 | 14,1 |

A = Volume en mm ; B = Coefficient % P ; C = % BV3

Ces chiffres sur le ruissellement font apparaître l'efficacité du reboisement en Pins, de l'aménagement rationnel et de la mise en défens sur le ruissellement. Le bassin brûlé (BV3) présente le plus important taux de ruissellement.

Ces données se reflètent aussi sur le coefficient de ruissellement maximum. Cependant, c'est le bassin versant n°2 qui présente le coefficient maximum le plus faible à cause des structures anti-érosives : fossés de protection, lignes isohypses. Ces structures n'existent pas dans le bassin versant reboisé (BV4) d'où un coefficient maximum plus élevé pour ce dernier.

Tableau n°30 : Coefficient de ruissellement maximum et nombre de ruissellement (15 années d'observation (DRFP-CTFT 1978))

| | CR Maximum (15ANS) % | Nb ruissellement >10% |
|------|-------------------------|-----------------------|
| BV 1 | 60% | 21 |
| BV 2 | 42% | 4 |
| BV3 | 75% | 39 |
| BV4 | 45% | 4 |

Perte en terre

Tableau n°31 : Perte en terre sous différents traitements des Bassins versants à Manankazo (15 années d'observation (DRFP-CTFT 1978))

| Bassin versants | Perte en terre en t/km ² /an |
|-----------------|--|
| BV 1 | 0,1 |
| BV 2 | 0 |
| BV3 | 13,3 |
| BV4 | 0 |

Les pertes sont en générale peu importantes dans la région du Tampoketsa. Seul le bassin versant brûlé fournit un tonnage relativement élevé : 13,3t/km²/an. Ces pertes en terre sont négligeables sous les trois autres traitements de bassin versant. Elles sont même nulles sous boisement de Pin. Pour ce dernier cas, il faut noter que le sous-solage avant la plantation de la première année a contribué largement à l'arrêt de l'érosion des sols.

Nous constatons ainsi que même avec un coefficient de ruissellement élevé, l'érosion des sols pourrait être réduite à des valeurs insignifiantes si la couverture des sols est bonne (BV 1 et BV4) et si les cultures suivent les normes de l'aménagement rationnel (BV2)

Bilan de l'eau

Tableau n°32 : Ruissellement dans les bassins versants à Manankazo (15 années d'observation (CTFT-1798))

| | BV 1 | | BV 2 | | BV 3 | | BV 4 | |
|-----------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | mm | % de P | mm | % de P | mm | % de P | mm | % de P |
| P(mm) | 1800 | 100 | 1824 | 100 | 1838 | 100 | 1867 | 100 |
| R | 128 | 7,1 | 47 | 2,6 | 283 | 15,4 | 9 | 0,5 |
| ETR | 969 | 53,9 | 1039 | 56,9 | 947 | 51,5 | 1173 | 62,8 |
| DRAINAGE | 702 | 39 | 739 | 40,5 | 608 | 33,1 | 685 | 36,7 |

Ces bilans hydriques des bassins versants soumis à différents traitements nous permettent de tirer deux grands traits hydrologiques :

- ⇒ le bassin versant brûlé (BV3) présente un bilan déséquilibré avec le taux de ruissellement le plus élevé (15,4%). Ces eaux sont irrécupérables pour les cultures et la végétation sur le bassin versant. Pour les autres bassins versants, ce taux n'excède pas 10% des pluies. Autrement dit, le brûlis limite l'infiltration des eaux dans les sols. Cette situation est aggravée par la forte évaporation directe des eaux dans la partie superficielle des sols mis à nu.
- ⇒ L'ensemble ETR-DRAINAGE dans les bassins versants mis en défens, aménagés et reboisés prélève plus de 90% des eaux de pluies. Cet ensemble, pour le bassin versant brûlé n'atteint pas 85%. Or ce sont ces eaux qui sont utilisées pour alimenter l'humidité des sols, le recharge de la nappe phréatique et pour entretenir la vie des végétaux.

2.2.1.2. Hautes Terres orientales : Ambatomainty

Les recherches à Ambatomainty concernent la comparaison de deux bassins versants. Le premier bassin versant (BV1) est aménagé après une première année de calibrage (1972-1973). La mise en valeur des bas-fonds et des versants commençait à la deuxième campagne. Le second bassin versant (BV2) prévu pour être en défens a été brûlé durant la campagne 73-74. Les deux bassins versants ont à peu près les mêmes tailles (BV1 = 26ha et BV2 = 29ha).

Les résultats obtenus portent sur la pluviométrie, l'humidité des sols, les débits des ruisseaux et les exportations solides.

Ruissellement maximum (Rmax) et Coefficient de ruissellement maximum (Crmax)

Tableau n°33 : ruissellement maximal dans les bassins versants d'Ambatomainty, 3campagnes(CTFT-1978)

| | 72 - 73 | | 73 - 74 | | 74 - 75 | |
|-----------------------|---------|------|---------|------|---------|------|
| | BV 1 | BV 2 | BV 1 | BV 2 | BV 1 | BV 2 |
| Rmax en l/s/ha | 38,3 | 33,5 | 69,0 | 34,4 | 46,2 | 49,6 |
| Crmax en % | 17 | 21 | 28 | 21 | 21 | 25 |

La première année d'observation ne montre pas beaucoup de différence entre les deux bassins versants. C'est une année témoin car on n'a pas encore intervenu dans les deux bassins. Dès la deuxième année, l'aménagement en rizières du bas-fond a entraîné l'augmentation du ruissellement dans le bassin versant : canalisation des eaux et évacuation libre des eaux. A la troisième année on voit apparaître les effets de l'aménagement rationnel sur le ruissellement tant au niveau du débit spécifique que du coefficient de ruissellement maximal.

Pertes en terre

Tableau n°34 : Perte en terre (en kg/ha/an) dans les bassins versants d'Ambatomainty(CTFT-1978)

| Campagne | BV1 | BV2 |
|----------|-----|-----|
| 72 - 73 | 7 | 9 |
| 73 - 74 | 26 | 91 |
| 74 - 75 | 12 | 100 |

Remarques sur la campagne 73-74 :

- BV2 = brûlée
- BV1 = début aménagement rizière

Les remarques sur les ruissellements ci-dessus sont valables sur les pertes en terre. Cependant la mise en feu du BV2 a creusé la différence de perte en terre entre les deux bassins versants. De même, pour le bassin versant aménagé, l'aménagement a augmenté le tonnage de perte en terre. A la troisième campagne, la perte en terre dans le BV1 a chuté de moitié (26kg/ha à 12kg/ha) à cause de l'aménagement rationnel effectué. Dans le bassin non aménagé, la perte en terre reste statu quo à la troisième année.

Bilan de l'eau

Tableau n°35 : Bilan de l'eau dans les bassins versants d'Ambatomainty (CTFT 1978)

| Année | BV | P(mm) | R(mm) | E(mm) | CR (%) | ETP | D(mm) | Ecart | |
|-------|-----|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | H(mm) | % |
| 72-73 | BV1 | 1836 | 117 | 1079 | 58,8 | | 757 | + 8 | |
| | BV2 | 1871 | 117 | 1106 | 59,1 | | 765 | | |
| 73-74 | BV1 | 1526 | 60 | 604 | 39,6 | 1736 | 922 | - 23 | - 2,5 |
| | BV2 | 1524 | 71 | 625 | 41,0 | | 899 | | |
| 74-75 | BV1 | 1780 | 101 | 980 | 55,1 | 1373 | 800 | - 36 | - 4 |
| | BV2 | 1763 | 134 | 998 | 56,0 | | 765 | | |

BV1 = aménagé ; BV2 = Prairie en défens
(BV = bassin versant, P = pluie, R = Ruissellement, E = Ecoulement total, CR = coefficient de ruissellement, D = Déficit d'écoulement, H = hauteur)

Concernant le bilan de l'eau illustré dans le tableau ci-dessus, on voit nettement la différence entre les deux bassins versants. BV1 (aménagé) présente un déficit d'écoulement de 922 mm. BV2 (non aménagé) a un déficit d'écoulement de 899 mm. Ce qui implique que l'aménagement appliqué dans le BV1 (murettes de pierre suivant les courbes de niveau) a contribué à augmenter le taux d'infiltration et de drainage en profondeur. La différence s'est encore creusée à la troisième année.

Notons enfin que les coefficients de ruissellement entre les deux bassins ne présentent pas beaucoup de différences. Ces coefficients dépendent aussi nettement de la pluviométrie totale de la campagne. La deuxième année est une année pluviométriquement creuse et le coefficient de ruissellement ne dépasse pas 50% de la pluie.

2.2.2. ZONE MERIDIONALE : Antanimora

Les études hydrologiques menées à Antanimora dans l'extrême Sud de Madagascar concerne deux bassins versants de différents traitements. Ces études ont pour objectifs :

- ⇒ de quantifier la pluviométrie, les ruissellements et les débits d'étiage dans les deux bassins versants.
- ⇒ de quantifier l'évapotranspiration.
- ⇒ de quantifier l'humidité des sols et ses variations dans le temps et dans l'espace.

**Tableau n°36 : Traitements des bassins versants
d'Antanimora(1963-1968) (CTFT 1978)**

| BV | Lieu | Superficie | Traitements |
|-----|------------|------------|--|
| BV1 | Tsimandaha | | Aménagé par des murettes en pierres sèches à profil trapézoïdal le long des courbes de niveau. La distance verticale entre murettes est de 4m. On a aussi installé à travers le thalweg principal des barrages en pierres sèches également. |
| BV2 | Ianamolora | | Mis en défens |

Bilan hydrique

On remarque dans le tableau des résultats suivant que :

⇒ Le déficit d'écoulement est plus important à Tsimandaha, bassin versant aménagé qu'à Ianamolora, bassin versant mis en défens. Celui-ci est de 95% à Tsimandaha et 90 % à Ianamolora. Cette différence (8,10%-3,86% = 4,24% de 100mm de pluie) est utilisée pour l'infiltration(nécessaire à l'alimentation de la nappe phréatique) et pour l'évapotranspiration. On peut dire que l'aménagement a contribué régulariser l'écoulement dans le bassin versant.

**Tableau n°37 : Bilan hydrique dans les deux bassins versants
d'Antanimora de 1963 en 1968 (CTFT)**

| Année | P | | E | | R | | R+E | | E/P | | P-E | | Dif |
|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|-----|------|-----|-----|-----|
| | BV1 | BV2 | BV1 | BV2 | BV1 | BV2 | BV1 | BV2 | BV1 | BV2 | BV1 | BV2 | |
| 63-64 | 552 | 567 | 16,6 | 11 | 2,7 | 25 | 19,3 | 36 | 3,5 | 6,3 | 533 | 531 | 2 |
| 64-65 | 410 | 403 | 7,1 | 4,1 | 0 | 6,7 | 7,1 | 10,9 | 1,7 | 2,7 | 408 | 392 | 16 |
| 65-66 | 648 | 588 | 4 | 3,2 | 1,3 | 30,5 | 5,2 | 33,7 | 0,8 | 5,7 | 647 | 554 | 93 |
| 66-67 | 805 | 748 | 46,8 | 18,1 | 14,4 | 88,4 | 61,5 | 106,5 | 7,6 | 14,2 | 797 | 641 | 156 |
| 67-68 | 702 | 563 | 38,5 | 7,9 | 2,9 | 36,4 | 41,4 | 44,3 | 5,8 | 7,9 | 696 | 519 | 177 |
| Moy | 623 | 574 | 22,6 | 8,9 | 4,3 | 37,4 | 26,3 | 46,3 | | | 597 | 528 | |
| %P | 100 | 100 | 3,2 | 1,6 | 0,7 | 6,5 | 3,8 | 8,1 | 3,8 | 8,1 | 96 | 92 | |

P = pluie(mm) ; E = Ecoulement permanent (en mm) ; R = Ecoulement de crues (en mm) ;
R+E = Ecoulement total (en mm) ; E/P = Coefficient d'écoulement ; P-E = Déficit ;
Dif = différence

ETR calculé selon Thorntwaite : 500mm

ETR calculé selon Turc : 557mm

ETP entre 1590mm/an et 1702mm/an à Ampanihy.

⇒ On voit aussi que sur 8,1mm d'écoulement total dans le bassin versant mis en défens, 6,5mm (80%) s'écoulent sous formes de crues, ce qui est préjudiciable à l'économie de l'eau. A Tsimandaha on a 18% seulement du débit total qui s'écoule sous forme de crue. En plus on constate que, dans le BV aménagé, le débit d'étiage est presque deux fois plus important que sous bassin versant mise en défens selon le tableau suivant :

Tableau n°38 : Débits d'étiage annuel à Antanimora(1963-1968)(CTFT)

| Année | Tsimandaha | Ianamolora |
|--------------|-------------|-------------|
| 1963 | 12,6 | 7,3 |
| 1964 | 8,7 | 5,0 |
| 1965 | 1,4 | 1,3 |
| 1966 | 3,4 | 1,0 |
| 1967 | 44,3 | 16,2 |
| Total | 70,4 | 30,8 |

De ces valeurs des débits d'étiage, on peut conclure que le fait d'installer des structures de défense et de restauration des sols, ici constituées de pierres sèches permet d'économiser de l'eau dans les bassins versants et de relever les petits débits.

Crues et coefficients de ruissellement

Tableau n°39 :Crues et coefficient de ruissellement dans les bassin versants d'Antanimora (CTFT-1978)

| Année | | Tsimandaha | Ianamolora |
|---------------------------------|-----------|-------------|------------|
| Débits de crue en l/s/ha | 1962-1963 | 60 | 130 |
| | 1963-1964 | 1 | 37 |
| | 1964-1965 | Négligeable | 11 |
| | 1965-1966 | Négligeable | 91 |
| | 1966-1967 | 12 | 114 |
| | 1967-1968 | 1 | 35 |
| | 1968-1969 | 12 | 130 |
| Crmax | | 25% | > 50% |
| Cr >10% | | 3% | 30 |

On voit nettement les effets des murettes de pierres sèches sur les crues. Durant la campagne 1966-1967, par exemple, à Tsimandaha, le coefficient de ruissellement maximum observé est de l'ordre de 10% de la pluviométrie avec une pointe de ruissellement de seulement 12l/s/ha. Cette même année à Ianamolora, le coefficient de ruissellement maximum est de 30% et on a eu des coefficients de ruissellement de plus de 50%.

Perte en terre en suspension et totale (+perte solide)

Tableau n°40 : Perte en suspension à Antanimora(CTFT-1978)

| Campagne | Perte en suspension | | Rapport |
|-----------|---------------------|---------------|-----------------|
| | BV Tsimandaha | BV Ianamolora | BV Tsim/BV Iana |
| 1965-1966 | 4T | 70T | 6% |
| 1966-1967 | 10T | 170T | 6% |

Tableau n°41 : Perte en éléments solides à Antanimora(1963-1968) (CTFT-)

| Bassin versant | Perte en terre totale |
|----------------|-----------------------|
| Ianamolora | 540t/km2/an |
| Tsimandaha | 5t/km2 |

On voit à travers ces deux tableaux la nette différence de perte en terre entre les deux bassins versants étudiés. Ces chiffres sont cependant sujet à caution car la période d'observation est trop courte pour conclure définitivement sur ce paramètre. Cependant, les rapports toujours égaux (6%) incite à se fier à ces différences.

2.2.3. FALAISE ORIENTALE : Station de Périnet

Des études hydrologiques comparatives ont été menées dans sept bassins versants expérimentaux dans la station de Périnet, sur la falaise orientale pendant neuf années. Ces études concernent la comparaison des comportements hydrologiques des bassins versants sous différents types de couvert végétal.

Tableau n°42 : Bilan de l'eau sous différents types de couverts végétaux à Périnet(CTFT-)

| N° BV | Couvert | Surface (ha) | Pluie (mm) | Eb (mm) | Ec (mm) | Et (mm) | CE (mm) | P-Et (mm) | Nb d'année de mesure |
|-------|-----------------|--------------|------------|---------|---------|---------|---------|------------|----------------------|
| D1 | Forêt naturelle | 9,18 | 2170 | 505 | 46 | 551 | 25,4 | 619 | 12 |
| D2 | Forêt naturelle | 7,14 | 2186 | 587 | 59 | 646 | 29,6 | 1540 | 12 |
| D3 | Forêt naturelle | 3,88 | 2162 | 706 | 51 | 757 | 35,0 | 1405 | 12 |
| D4 | Forêt naturelle | 100,96 | 2139 | 793 | 57 | 850 | 39,7 | 1289 (ETR) | 12 |
| D5 | Eucalyptus | 13,26 | 1664 | 209 | 52 | 261 | 15,7 | 1403 | 12 |
| D6 | Savoka | 7,27 | 1885 | 702 | 125 | 827 | 43,9 | 1058 | 8 |
| D7 | Savoka | 31,50 | 1880 | 710 | 156 | 866 | 45,6 | 1014 (ETR) | 8 |

Eb = Ecoulement de base ; Ec = Ecoulement de crue ; Et = Ecoulement total ;
 CE = coefficient d'écoulement ; P-Et = Déficit. ETR Thornthwaite : 855 ;
 ETR Turc : 931 mm/an pour la végétation savoka

Bilan de l'eau

Le tableau suivant nous permet d'établir quelques remarques importantes sur le bilan de l'eau dans les bassins versants forestiers :

Le coefficient d'écoulement augmente avec la pluviométrie annuelle pour les précipitations inférieures à 2000mm. Au-dessus de cette hauteur de pluie, il existe des valeurs limites de coefficient d'écoulement :

- ⇒ Forêts naturelles : 36%
- ⇒ Eucalyptus : 20%
- ⇒ Savoka : 56%

Les coefficients de ruissellement sont importants sous savoka par rapport aux autres formations végétales (Forêt naturelle et Eucalyptus).

Concernant les pertes par évapotranspiration, on remarque que, si les pertes par drainage sont égaux pour les trois types de couvert, le bassin versant sous savoka évaporent beaucoup moins que les deux autres, à superficie égale :

- ⇒ Forêt naturelle : 100mm de plus
- ⇒ Peuplement vieux d'Eucalyptus : 250mm de plus.

Le déficit d'écoulement est plus important sous bassin versant forestier du fait de la grande rétention en eau du sol, du prélèvement de la masse végétale et de l'ETR.

Crués (Débits spécifiques maxima)

Tableau 43 : Débits spécifiques maximum à Périnet (1965-1974)
(DRFP-CTFT-1978)

| BV | Débit de pointe max |
|----------------------|---------------------|
| Forêt naturelle (D3) | 53l/s/ha |
| Forêt naturelle (D4) | 62l/s/ha |
| Eucalyptus | 80l/s/ha |
| Savoka | 122l/s/ha |

Le débit spécifique est particulièrement intéressant pour la comparaison hydrologique des bassins versants. Dans ce tableau, le bassin versant sous savoka ruisselle beaucoup plus que les deux autres. Sous forêt naturelle, ce débit est atténué par les effets de la végétation et l'importance des écoulements sub-superficiels retardés. Sous Eucalyptus, la mauvaise décomposition de la litière ne permet pas efficacement de tamponner les écoulements directs (crués).

Coefficient de ruissellement

**Tableau 44 : Coefficient de ruissellement à Périnet (1965-1974)
(DRFP-CTFT-1978)**

| BV | Couvert | CR max |
|----|-----------------|--------|
| D3 | Forêt naturelle | 24% |
| D4 | Forte naturelle | 35% |
| D5 | Eucalyptus | 32% |
| D7 | Savoka | 66% |

Le bassin versant sous savoka a des coefficients largement supérieurs, deux fois plus, par rapport aux bassins versants sous formations forestières. Le coefficient de ruissellement dépend non seulement des couvertures végétales mais aussi de la superficie des bassins versants et de leurs formes.

Perte en terre

En milieu forestier les pertes en terre sont négligeables dans les grands bassins quelque soit les types de couvert végétal. Des tonnages ont été cependant obtenus dans les petits bassins versants. Ces résultats rappellent les valeurs obtenues en parcelles élémentaires. Les pertes en terre sont très peu importants sauf la première année de mise en culture traditionnelle.

**Tableau n°45 : Perte en éléments solides dans des petits bassins versants
à Périnet (1965-1974 (DRFP-CTFT-1978)**

| BV | Couvert | Perte en terre |
|------|--------------------|----------------|
| BV71 | Savoka | 0,4T/ha/an |
| BV72 | Cultures : | |
| | · Première année : | 1,7t/ha/an |
| | · Deuxième année : | Négligeable |
| BV73 | Tavy : | |
| | · Première année : | 9T/ha/an |
| | · Jachère : | Nulle |

2.2.4. CONCLUSION

Les études en petits bassins versants dans différentes zones agroécologiques de Madagascar, ont permis d'établir les bilans hydriques sous différents types d'utilisation des sols dans ces zones. Le caractère expérimental des recherches permet d'avoir des bases de données sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants. Elles nous ont aussi permis de caractériser les modalités de ruissellement et de perte en terre dans ces différents bassins versants.

Par ailleurs, ces études ont montré une fois de plus l'importance de la mise en valeur rationnelle des bassins versants sur le ralentissement du ruissellement et la réduction de

l'érosion des sols. L'aménagement s'avère intéressant aussi sur le bilan de l'eau. L'exemple d'Antanimora est assez significatif pour améliorer l'économie de l'eau dans les bassins versants.

Malgré les intérêts que présentent les études en bassins versants expérimentaux, celles-ci restent localisées dans l'espace. D'autant plus que certains de ces Bassins versants d'étude se trouvent à des localités excentriques (loin des foyers de forte densité de population) : Ambatomainty, Manankazo...

Les études en bassins versants expérimentaux présentent des avantages car elles intéressent des superficies plus grandes que les parcelles d'érosion. Elles sont plus proches de la réalité. Cependant, plus la surface des bassins versants est grande, plus les facteurs qui influent les résultats sont importants. Les influences des substrats géologiques sont difficilement maîtrisables dans les grands bassins que dans les petits bassins.

Enfin, en bassins versants expérimentaux comme à Manankazo, les traitements sont appliqués intégralement sur toutes les superficies des bassins. ce qui n'est pas toujours le cas en milieu réel. En ce dernier, les bassins sont utilisés pour plusieurs types d'utilisation. Les résultats sont alors figés et difficiles à extrapolés.

BIBLIOGRAPHIE

Bailly C (1964) : “ Eléments de défense et restauration des sols à Madagascar ” Ministère de la Forêt Malgache et du Reboisement- DEFCS. Septembre, 1964.

Bailly C (1973): “ Bilan hydrique sous prairie naturelle et artificielle - Bassins versants expérimentaux d'Ambatomainty : campagne 1972-1973 ” ORSTOM - Hydrologie 1973.

Bailly C.(1987) : “ Bilan de la recherche forestière effectuée à Madagascar avant 1974 - Sylviculture - conservation des sols - Pêche et Pisciculture- ” Centre Technique Forestier Tropical, NOGENT-SUR-MARNE - CEDEX France

DRFP (1988) : “ Programme de recherches sur la conservation des sols : Agroforesterie - Compte-rendu de Campagne 1986-1987 ” Rapport rédigé par Rakotomanana J.L. Doc -DRFP, juin 1987

DRFP-CTFT (1975) : “ Etude du ruissellement et de l'érosion en Parcelle Elémentaire à Manankazo ” Division Sol-Forêts

DRFP-CTFT (1975) : “ Etude du ruissellement et de l'érosion en Parcelle Elémentaire à Périnet ” Division Sol-Forêts

DRFP-CTFT (1975) : “ Etude du ruissellement et de l'érosion en Parcelle Elémentaire à Ambatomainty ” Division Sol-Forêts

DRFP-CTFT (1975) : “ Etude du ruissellement et de l'érosion en Parcelle Elémentaire à Nanisana ” Division Sol-Forêts

DRFP-CTFT (1975) : “ Etude du ruissellement et de l'érosion en Parcelle Elémentaire à Ivoloïna ” Division Sol-Forêts

DRFP-CTFT (1975) : “ Etude du ruissellement et de l'érosion en Parcelle Elémentaire à Kianjasoa ” Division Sol-Forêts

DRFP-CTFT (1975) : “ Etude du ruissellement et de l'érosion en Parcelle Elémentaire à Miadana ” Division Sol-Forêts

DRFP-CTFT : (1978) : “ Résultats d'expérimentations en Bassins versants comparatifs et Parcelles élémentaires concernant l'influence des couverts naturels mises en place par le CTFT à Madagascar ”, Antananarivo, juin 1978.

FOFIFA (1975) : “ Bilan des Recherches et des actions sur : l'érosion des sols, la fertilité des sols de bas-fonds, la fertilité des sols de tanety, la production de bois la production de fourrages et les aspects socio-économiques ” Atelier National - African Highland Initiative .Antananarivo, Déc. 1975.

Goujon et al. (1968) : “ Conservation des sols en Afrique et à Madagascar ” CTFT, in Bois et Forêts des Tropiques N°118, mars-avril 1968.

Kilian J. (1974) : “ Bilan des Recherches effectuées à Madagascar avant 1974 en matière de connaissance et utilisation des sols ”IRAT-CIRAD, Sept, 1988.

Malvos C. et al (1976) : “ Etude de la susceptibilité à l'érosion des sols de Madagascar ”CNRADERU-CTFT, Antananarivo, 1976.

Ministère de la Coopération Française : “ Conservation des sols au Sud du Sahara ” 2^{ème} édition CTFT, 1979

MRSTD-FOFIFA (1989) : “ Bilan de la Recherche agricole à Madagascar : Conservation de sols ” pp 239-252 : Ed. CDIST-CIRAD.

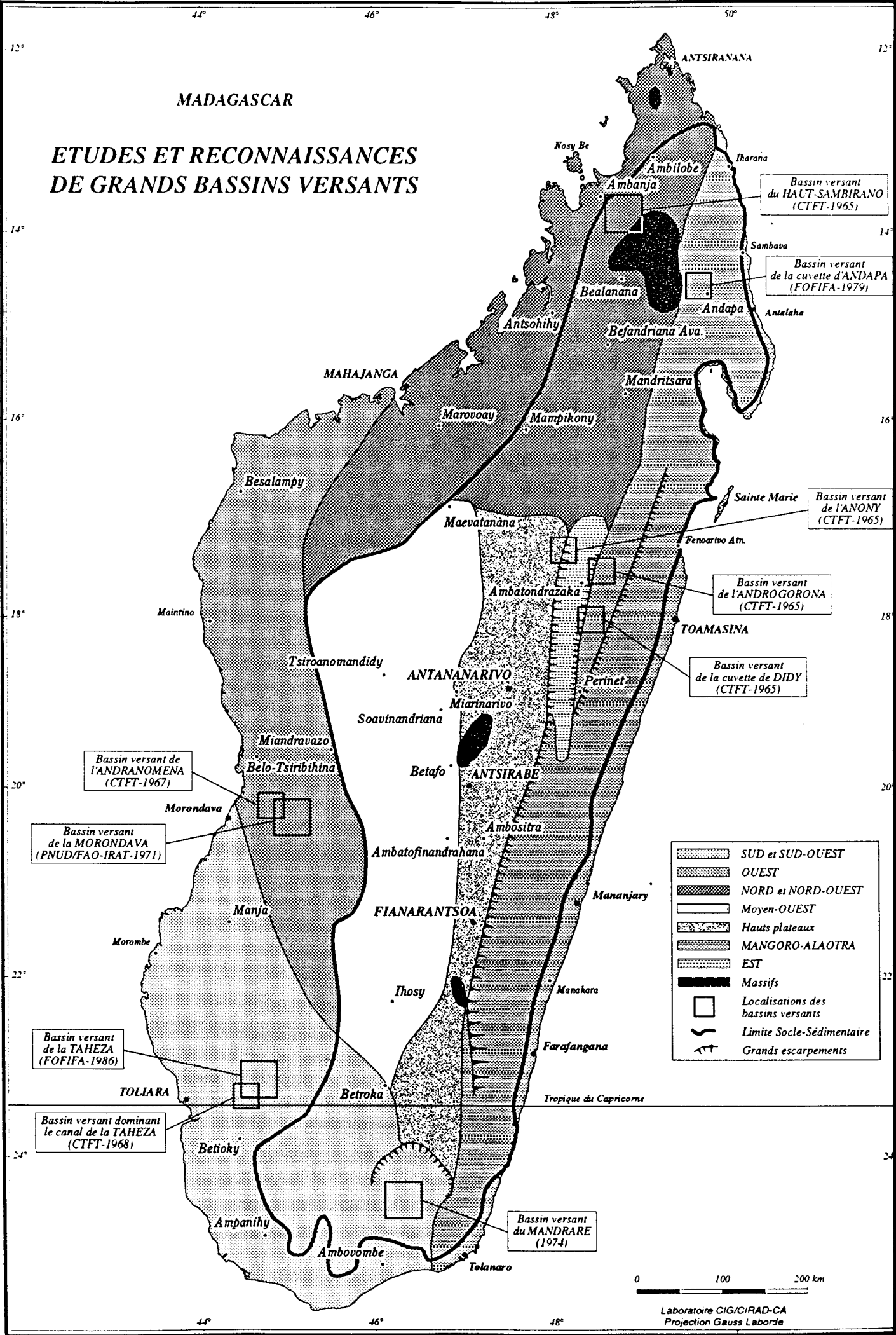
Office National de l'Environnement (ONE) - Institut National de Statistique (1994) : “ Rapport sur l'état de l'environnement à Madagascar ” Edition PNUD, 1994.

Projet Terre-Tany (1995) : “ Rapport d'activité annuel 1994 : cycle de l'eau à Avaratrambolo ”. Doc Projet Terre-Tany, Antananarivo, 1995.

Projet Terre-Tany (1996) : “ Etude de l'impact des cyclones “ Hutelle ”, “ Daisy ” et “ Geralda ” et des conditions cadres pour un aménagement des bassins versants dans la zone de Beforona ” FOFIFA/GDE (Recherche collaborative), Antananarivo, Avril 1996.

MADAGASCAR

ETUDES ET RECONNAISSANCES
DE GRANDS BASSINS VERSANTS



Bassin versant du HAUT-SAMBIRANO (CTFT-1965)

Bassin versant de la cuvette d'ANDAPA (FOFIFA-1979)

Bassin versant de l'ANONY (CTFT-1965)

Bassin versant de l'ANDROGORONA (CTFT-1965)

Bassin versant de la cuvette de DIDY (CTFT-1965)

Bassin versant de l'ANDRANOMENA (CTFT-1967)

Bassin versant de la MORONDAVA (PNUD/FAO-IRAT-1971)

Bassin versant de la TAHEZA (FOFIFA-1986)

Bassin versant dominant le canal de la TAHEZA (CTFT-1968)

Bassin versant du MANDRARE (1974)

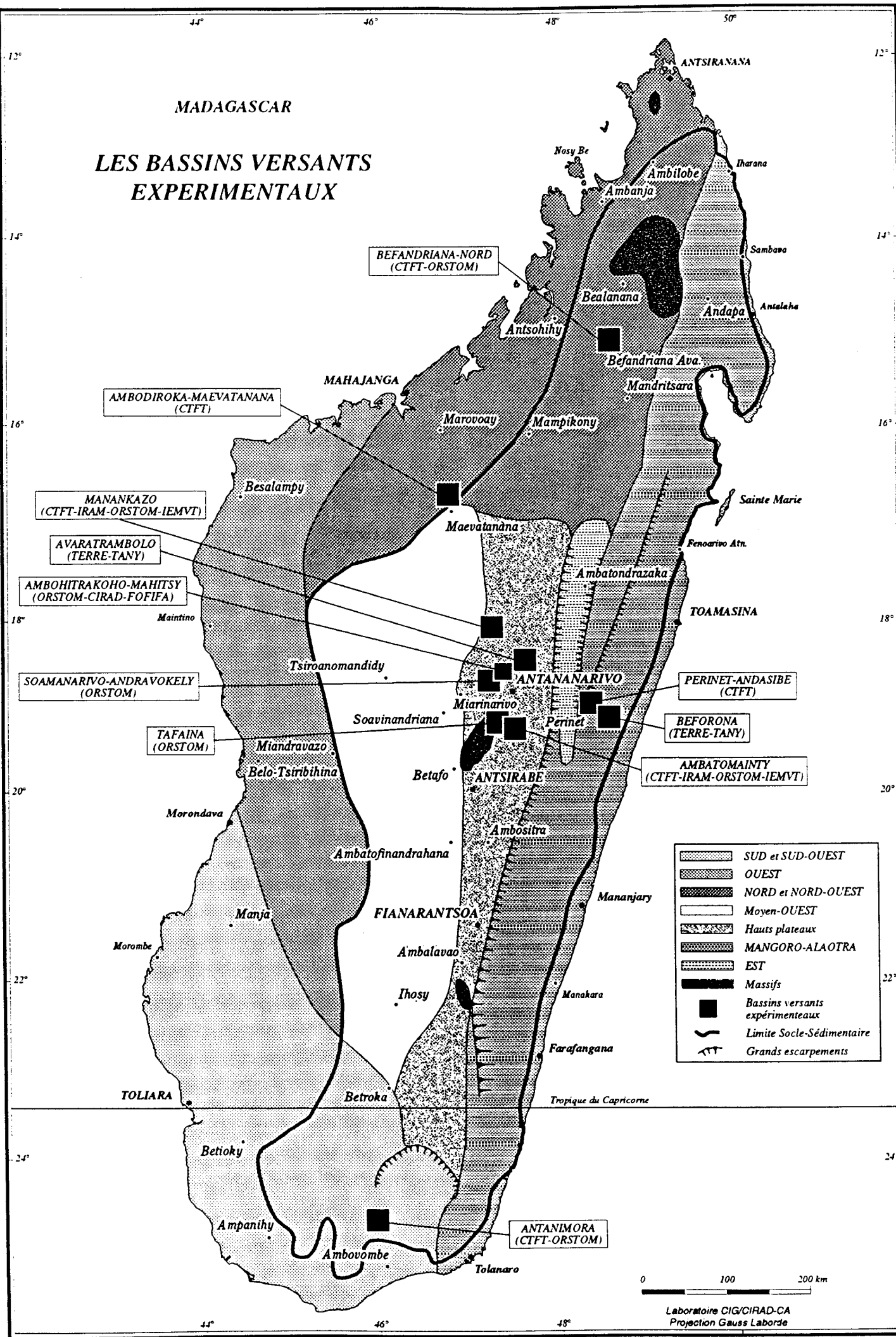
- SUD et SUD-OUEST
- OUEST
- NORD et NORD-OUEST
- Moyen-OUEST
- Hauts plateaux
- MANGORO-ALAOIRA
- EST
- Massifs
- Localisations des bassins versants
- Limite Socle-Sédimentaire
- Grands escarpements

0 100 200 km

Laboratoire CIG/CIRAD-CA
Projection Gauss Laborde

MADAGASCAR

LES BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX



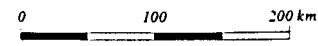
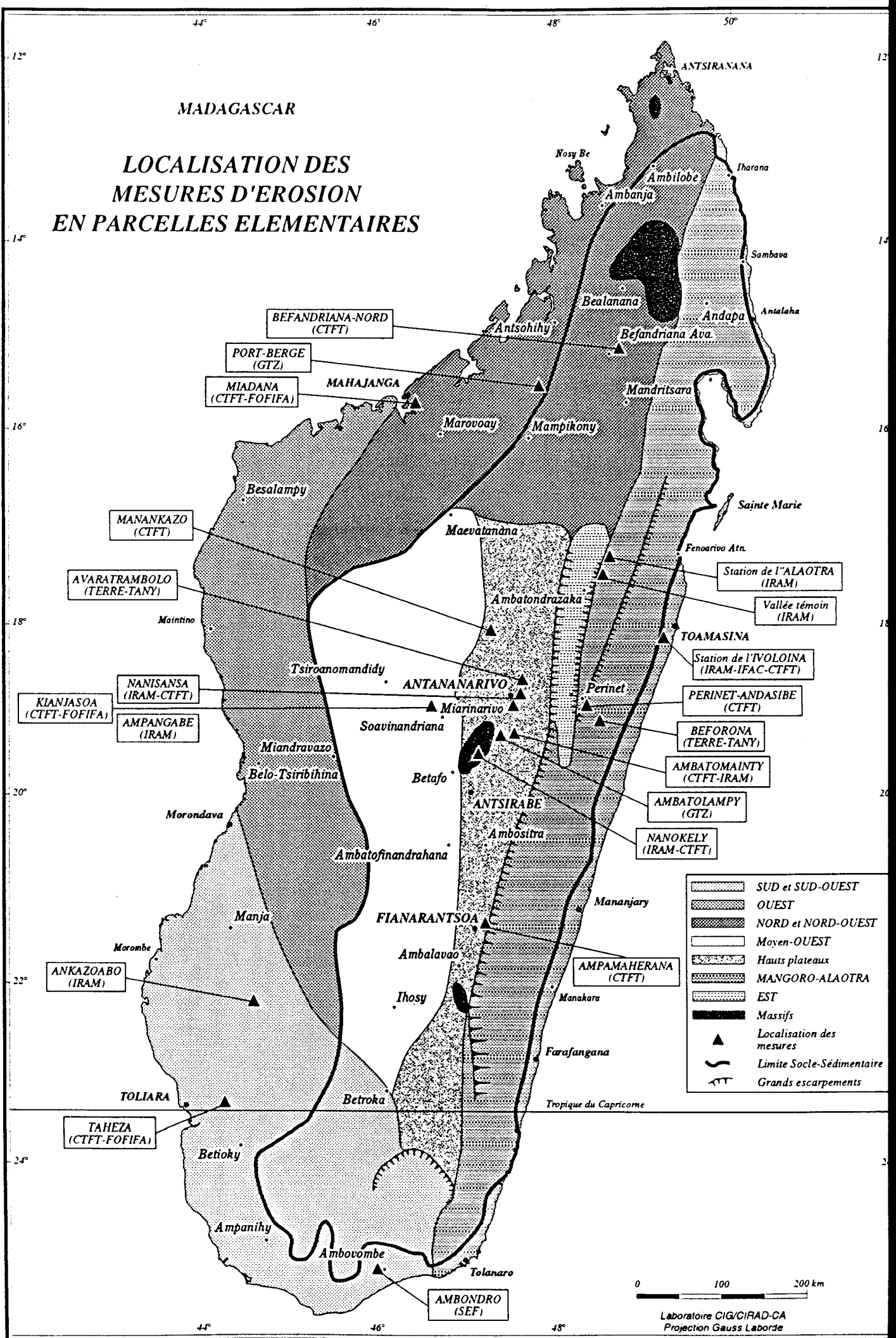
- SUD et SUD-OUEST
- OUEST
- NORD et NORD-OUEST
- Moyen-OUEST
- Hauts plateaux
- MANGORO-ALAOIRA
- EST
- Massifs
- Bassins versants expérimentaux
- Limite Socle-Sédimentaire
- Grands escarpements

0 100 200 km

Laboratoire CIG/CIRAD-CA
Projection Gauss Laborde

MADAGASCAR

LOCALISATION DES MESURES D'EROSION EN PARCELLES ELEMENTAIRES



Laboratoire CIG/CIRAD-CA
Projection Gauss Laborde