

## LA DECANTATION

Lors de la campagne de prélèvement, nous avons remarqué que les quatre (04) usines de traitement qui nous ont donné l'autorisation d'analyser leurs eaux de rejet disposent toutes des vases de décantation. Cependant, les résultats de mesures obtenus ont témoigné que ces vases ne sont pas toujours efficaces à 100%. Il y a nécessité d'aménager un bassin d'épuration comme ce fut le cas pour l'une des quatre usines qui faisait d'abord passer ses eaux usées dans une mare à roseaux avant de les déverser dans le fleuve. Effectivement, les analyses ont montré que très peu d'éléments polluants parviennent au fleuve.

Par contre, pour les trois autres usines, après le vase de décantation les eaux sont directement déversées dans une rivière pour l'une, dans les rizières environnantes pour l'autre et dans un lac d'utilité publique pour la dernière. La rivière est polluée par le chrome total et le plomb, les rizières sont contaminées par le soufre et le cuivre et le lac renferme beaucoup de plomb et ce généralement à un taux largement supérieur à la limite recommandée par l'OMS.

Ces constatations faites pour les eaux ont été confirmées par les résultats d'analyses des sédiments aussi bien des vases de décantation que du milieu récepteur.

Toutes les analyses ont été rendues possibles grâce aux variantes de la méthode par fluorescence X qui présente entre autres l'avantage d'être simple, rapide et précise. C'est un atout majeur en effet car elle nous a permis de multiplier le nombre d'échantillons à analyser pour pouvoir étudier l'évolution de la pollution dans le temps et dans l'espace. Il importe de remarquer qu'à une usine sujette aux études a été soumise à 5 prélèvements espacés d'une semaine pendant la durée de l'étude. De plus, nous ne nous contentions pas seulement des eaux d'évacuation mais aussi celles du milieu récepteur.

Toujours dans la même année, un autre groupe de chercheurs s'est chargé du prélèvement d'air à l'aide de l'aspirateur SAIC RADÉCO et du groupe électrogène de l'INSTN.

L'étude envisagée visait alors à déterminer le taux de particules solides transportées par l'air ambiant : identifier et quantifier les éléments constitutifs de ces particules et par la suite définir leur destination finale. Pour ce faire, quatre sites de prélèvement que nous jugions pollués ont été choisis à savoir les tunnels d'Ambohidahy et d'Ambanidia, le carrefour d'Antsahabe et le bord de la rue qui mène vers le tunnel d'Ambanidia (côté OMNIS Ambohidatovo). Le prélèvement journalier a débuté le 10 juin 1996 et a duré un mois.

Les filtres échantillonnés ont été analysés au moyen de la fluorescence X à excitation directe utilisant le tube à rayons X à anode en molybdène. Parmi les éléments décelés, ceux à l'état métallique tel que le fer, le manganèse, le strontium, le zinc et le plomb sont particulièrement dangereux du fait qu'ils peuvent se déposer dans le poumon une fois l'air qui les renferme est inhalé. Les endroits où l'on a détecté le taux élevé de plomb se trouvaient sous les deux tunnels Ambohidahy ( $5,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et Ambanidia ( $1,9\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

*Note* : Dans le tunnel d'Ambohidahy, le filtre est très vite saturé. L'expérience montre qu'au bout d'une heure de prélèvement, le débitmètre chute brusquement de 150L/mn à 75L/mn. Une durée de 1h suffit donc afin de ne pas fausser les résultats.

Contrairement aux intoxications par voie orale (aliments et boissons) où l'élimination se fait surtout par voie urinaire et fécale, les intoxications par les métaux par voie respiratoire sont toujours plus dangereuses du fait qu'ils peuvent se déposer dans les organes cibles qui sont le poumon et le système nerveux central. Même à doses faibles, ces métaux sont susceptibles, à l'image du tunnel lui-même de former une couche noire le long des voies respiratoires.

La figure 7 illustre l'état d'un filtre blanc après une heure d'aspiration dans le tunnel d'Ambohidahy afin de montrer aux lecteurs la situation en termes de pollution de l'air.



Figure 7- Le filtre avant et après le prélèvement d'air dans le tunnel d'Ambohidahy (29/06/1996)

Au cours de cette première investigation, nous avons eu l'occasion *d'acquérir les compétences et expériences* :

- dans un nouveau domaine qui n'est autre que l'environnement physique de l'homme (air et eau et sédiment),
- en pilotage de projet de recherche,
- en animation et motivation de l'équipe,
- en validation de données,
- en collaboration communautaire (première participation à un travail de terrain et travail d'enquête, première collaboration avec la Commune Urbaine d'Antananarivo).

## La recherche post doctorale

### 1.3.1. Dans le domaine de l'enseignement et de l'encadrement

A l'issue de la thèse, nous avons été admise à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo en tant qu'enseignant vacataire habilitée à enseigner et encadrer/ co-encadrer les étudiants en DEA, option Physique Nucléaire et Physique Appliquée. Depuis 1997, nous avons encadré 24 étudiants (cf. détails dans le tableau 5) pour un stage de DEA, de Masters sur des sujets directement liés à nos actions de recherche.

Au sein de l'INSTN-Madagascar, nous sommes responsable du cours «La Radioactivité et l'Environnement», enseignement du programme de formation de la Licence Professionnelle en Radioprotection, option environnement (30h de ET)

- **Etudiants encadrés/co-encadrés**

Tableau 5- Liste des étudiants encadrés ayant obtenu leur diplôme

1- DEA et Master II à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo

Année	Impétrants	Notre attribution dans la commission d'examen	
		Rapporteur	Examineur
1997	1- RAVELOARIJAONA Alain Bernard Contribution à la détermination de la concentration de l'or dans le mercure par la technique de Fluorescence X en utilisant la méthode de l'itération		X
	2- RASOLOFONIRINA Mamiseheno Etude de la masse d'échantillon. Analyses par Fluorescence X des sels et quelques plantes médicinales malagasy	X	
1998	3- RAMANDIMBIMANANA Jean Emile Détermination des éléments majeurs, mineurs et en trace dans quelques produits halieutiques de Madagascar		X
	4- RAKOTONDRAMANANA Hery Tiana Etalonnage en sensibilité de la chaîne de spectrométrie X à énergie dispersive. Application aux analyses de caillot	X	
1999	5- RAKOTONDRAJAONA Luc Théorie sur l'analyse par Fluorescence X : contribution du phénomène d'auto excitation		X
	6- ANDRIANIAINA Hery Conception et réalisation d'un système de protection pour chaîne de spectrométrie nucléaire		X
	7- RAZAFY ANDRIANARIVO Robert Contribution de la Fluorescence X à réflexion totale aux analyses des éléments en traces des cheveux	X	

Année	Impétrants	Notre attribution dans la commission d'examen	
		Rapporteur	Examineur
2000	8- MANOELA Fihevera Pascal Etude de la teneur en éléments de quelques plantes médicinales malagasy par la technique de Fluorescence X à réflexion totale	X	
2002	9- MAHARAVO Jean Martial Détermination de la teneur en soufre dans les huiles lubrifiantes pour moteurs par la technique de Fluorescence X à réflexion totale	X	
	10- MAMIZARA Michéa Etude de la pollution de l'air de la ville d'Antananarivo en termes de PM <sub>2,5</sub> et des éléments toxiques par la méthode de la Fluorescence X à réflexion totale	X	
2003	11- RASAMUEL Maminirina Fanomezantsoa Application de la technique de Fluorescence X à réflexion totale à l'étude quantitative de la distribution granulométrique des éléments toxiques, indésirables et PM <sub>10</sub> de la région de Vakinankaratra et de la ville d'Antsirabe		X
	12- RASATATSIHOARANA Sergio Francisco Etude de la qualité des eaux de consommation dans quelques régions de la province d'Antananarivo par la technique de Fluorescence X à réflexion totale		X
2006	13- RARIVOSON Mamy Jasper Application de la Fluorescence X à l'étude de quelques éléments minéraux dans les sols des rizières de la Commune d'Ambohitrimanjaka	X	
2007	14- ANDRIAMAHENINA Njaka Namelantsoa Etude hydrochimique de la nappe phréatique des zones d'Ambohimangakely et d'Ambohimambola par les méthodes d'analyses par Fluorescence X et Chromatographie ionique		X
	15- RAVOSON Herinirina Nomenjanahary Détermination de la teneur en tantale dans quelques minerais de coltan de Madagascar	X	
2009	16- RAZAFINTSALAMA Volasoah Tahiana Dosage des métaux lourds Pb, Cd et Fe par la spectrométrie d'Absorption atomique dans les tissus animaux	X	
2011	17- AHMED Houmadi Etude de la pollution de l'air en termes des métaux lourds et des matières particulaires à Ambodin'Isotry en utilisant la technique de Fluorescence X à réflexion totale		X

*La pollution de l'environnement dans quelques communes des régions d'Analamanga et de Vakinankaratra :  
apport des techniques d'analyses nucléaires et connexes*

Année	Impétrants	Notre attribution dans la commission d'examen	
		Rapporteur	Examineur
2012	18- HARINOELY Manovantsoatsiferana Etude de la pollution de l'air par les matières particulaires, les éléments et le carbone noir dans les aérosols prélevés à Andravoahangy-Antananarivo		X
2013	19- BE Kouzema Analyses des éléments en traces et des éléments minéraux dans les gousses de vanille de la région de SAVA à l'aide des techniques de Fluorescence X à réflexion totale, d'Absorption Atomique et de chromatographie ionique	X	
2014	20- RASOLONDRAIBE Iata Peterson Caractérisations physico-chimiques et mécaniques de quelques produits de ciment à Madagascar par la technique d'analyses par Fluorescence X et essais de réception		X
2015	21- ANDRIAMISETRA Vonona Miary Zo Analyses des métaux lourds et des éléments minéraux dans les Curcumas Longa par la technique de Fluorescence X à réflexion Totale et la spectrométrie d'Absorption Atomique	X	

## 2- DEA et Master II à la Faculté des Sciences de l'Université Nord Antsiranana

Année	Impétrants	Notre attribution dans la commission d'examen	
		Rapporteur	Examineur
2012	22- TETENA Faustin Analyses de quelques échantillons de gousses de vanille par la fluorescence X	X	
2013	23- ANDRIAMIADANA Chamsidine Analyses des éléments en trace et des éléments minéraux dans les écorces du tamarin par la technique de fluorescence X à réflexion totale	X	
	24- ANDRIANJARA Jules Johanitot Analyses des éléments en trace et des éléments minéraux dans des Acanthospermum Hispidum ou Bakakely à l'aide des techniques de fluorescence X à réflexion totale	X	

---

*La pollution de l'environnement dans quelques communes des régions d'Analamanga et de Vakinankaratra :  
apport des techniques d'analyses nucléaires et connexes*

### 3- Licence Professionnelle en Radioprotection à l'INSTN-Madagascar

Année	Impétrant	Attribution de l'enseignant dans la commission d'examen	
		Rapporteur	Examineur
2005	RAKOTONDRABE ANNETTE Ando Riana	X	
	RASOLOMAMPIONONA Marivelo Joëline	X	
2006	RINDRASOA Nadia René		X
2009	HAYATI Mohamed Saïd Mkandzilé	X	
	MANANTENA Fidèle Fils	X	
2010	RATSIMBAZAFY Haingotiana Zoeline	X	
2011	RAJAONAH Sitrakiniaina	X	
	MIRIAM AHAMADA		X
2012	RAZAFIMAMY ANDRIAMANOVOSOA Lafatra	X	
	TOJONOMENJANAHARY Herinavalona	X	
2013	RAVAOARIMALALATIANA MioraVatosoa	X	
	ANDRIAMANANA Haingotiana Vonifanja	X	
2014	ANDRIANIRINAMANANTSOA Fitiavana N. N	X	
	RAHARISON Vatsiniaina Taratra Baliaka		X
2015	RAKOTOVAO Lovanantenaina Oméga	X	
	RATOVOHERISON Mamy Tina Sylvain	X	
	ANDRIAMANDIMBIHASINA Rianala Ravalison		X
2016	RAMANANARIVO Mbeloson Pierret	X	
	RAKOTOASIMBOLA Lova Bertrand	X	

### 1.3.2. Dans le domaine de la recherche et de l'animation scientifique

Durant cette période post-doctorale, nous avons travaillé sur des sujets qui seront présentés brièvement dans le chapitre 2 et repris plus en détail dans le document de l'Ensemble des Travaux. Ces sujets de recherche ont permis tout à la fois de *poursuivre nos travaux dans le champ de notre thèse de doctorat* (la pollution de l'environnement physique), de nous investir dans de nouveaux champs connexes, notamment une contribution à l'étude d'*impacts sur la santé publique*. *Cela nous a permis d'acquérir une vision plus globale et plus intégrée des questions scientifiques et techniques relatives à la pollution environnementale.*

A l'INSTN, les actions de recherche ont été conduites principalement dans le cadre des projets dont *nous avons été chargés, notamment pour leur conception, leur gestion, et leur mise en œuvre*. Nous sommes toujours directement responsable de l'ensemble de projets confiés au département de Fluorescence X et Environnement de l'INSTN. La liste des projets principaux du département est indiquée dans le tableau 6.

Avant de poursuivre, la lecture du tableau 6 appelle quelques commentaires. D'une part, on peut noter, depuis la fin de la thèse en 1996, la continuité de certains thèmes de notre recherche sur plusieurs années. D'autre part, il nous a paru pertinent de travailler sur le thème «Management de Qualité» après la thèse en vue de l'amélioration de la qualité des services offerts. Il a été inscrit dans notre programme à partir de l'année 1997 mais la mise en place n'a été effective qu'à partir de 2003 pour des raisons liées aux diverses priorités scientifiques et budgétaires.

Tableau 6- Les principaux projets du département XRFE

Année	REFERENCES DES PROJETS/ FINANCEMENT					TITRES DES PROJETS	
1993					MAG2002 /AIEA	MAG2002 : Renforcement de la capacité d'analyses au sein de l'INSTN	
1994							
1995							Microprojet japonais : Recherche sur la pollution environnementale
1996			µprojet japonais/MESReS				
1997						CPR : Urban Air Pollution Study	
1998	CPR/AIEA					LBI : Plan de déplacements urbains pour l'agglomération d'Antananarivo : Etude de la pollution auditive et nasale	
1999							
2000			FADES/Banque mondiale/MESReS			FADES : Contribution à l'évaluation de la pollution environnementale par des études pluridisciplinaires	
2001							
2002				MAG7002 /AIEA			MAG7002 : Effects of water and air pollution on public health
2003	LBI-INSTN						RAF4019 : Developing Air Pollution Monitoring in Urban Zones
2004					RAF4018 /AIEA	EGIS BCEOM : Etude sur la gestion de la qualité de l'air à Antananarivo	
2005							
2006	RAF4019 /AIEA					RAF4018 : Quality Management and Control in institutions using nuclear and related technologies	
2007		EGISBCEOM-INSTN			MAG8005 - MAG8007 /AIEA	MAG8005-MAG8007 : Establishment of a National Quality Control Standard for foodstuffs	
2008							
2009						RAF0027/AIEA	RAF0027 : Consumer Safety and Trade Development through Competent Nuclear Testing and Metrology Laboratories
2010							
2011							
2012							
2013							
2014							
2015							
2016							
<b>Thème</b>	Pollution de l'air		Pollution des eaux et de l'air		Management de Qualité		

*La pollution de l'environnement dans quelques communes des régions d'Analamanga et de Vakinankaratra : apport des techniques d'analyses nucléaires et connexes*

A l'issue de notre thèse, notre supérieur hiérarchique nous a confié la tâche de responsable de l'animation scientifique du laboratoire d'analyses XRFE. Il s'agissait tout d'abord de contribuer à la performance du laboratoire : recrutement, formation spécialisée du staff, modernisation des méthodes et outils, acquisition d'instrumentation.

Ainsi, une large part de notre activité visait, d'une part, à orienter l'organisation interne au laboratoire pour améliorer les pratiques et les compétences et, d'autre part, à développer des collaborations (en interne et en externe) et à participer au montage et au pilotage de projets de recherche (multipartenaires) type national ou international.

Dans la suite de ce paragraphe, nous allons décrire plus en détail les projets mentionnés dans la liste du tableau 6.

- **Pilotage et co-pilotage de projets**

*Interactions entre les différents projets* : Le tableau 6 laisse entrevoir que plusieurs d'entre eux sont imbriqués et interdépendants. Les interactions peuvent être simultanées lorsque, par exemple, plusieurs actions de recherche sont conduites en parallèle, ou exécutées sur les mêmes sites et dispositifs expérimentaux. Elles peuvent également être successives, lorsque les résultats obtenus dans un projet de recherche contribuent ensuite à faire progresser d'autres projets. La figure 8 met en évidence les interactions principales entre eux.

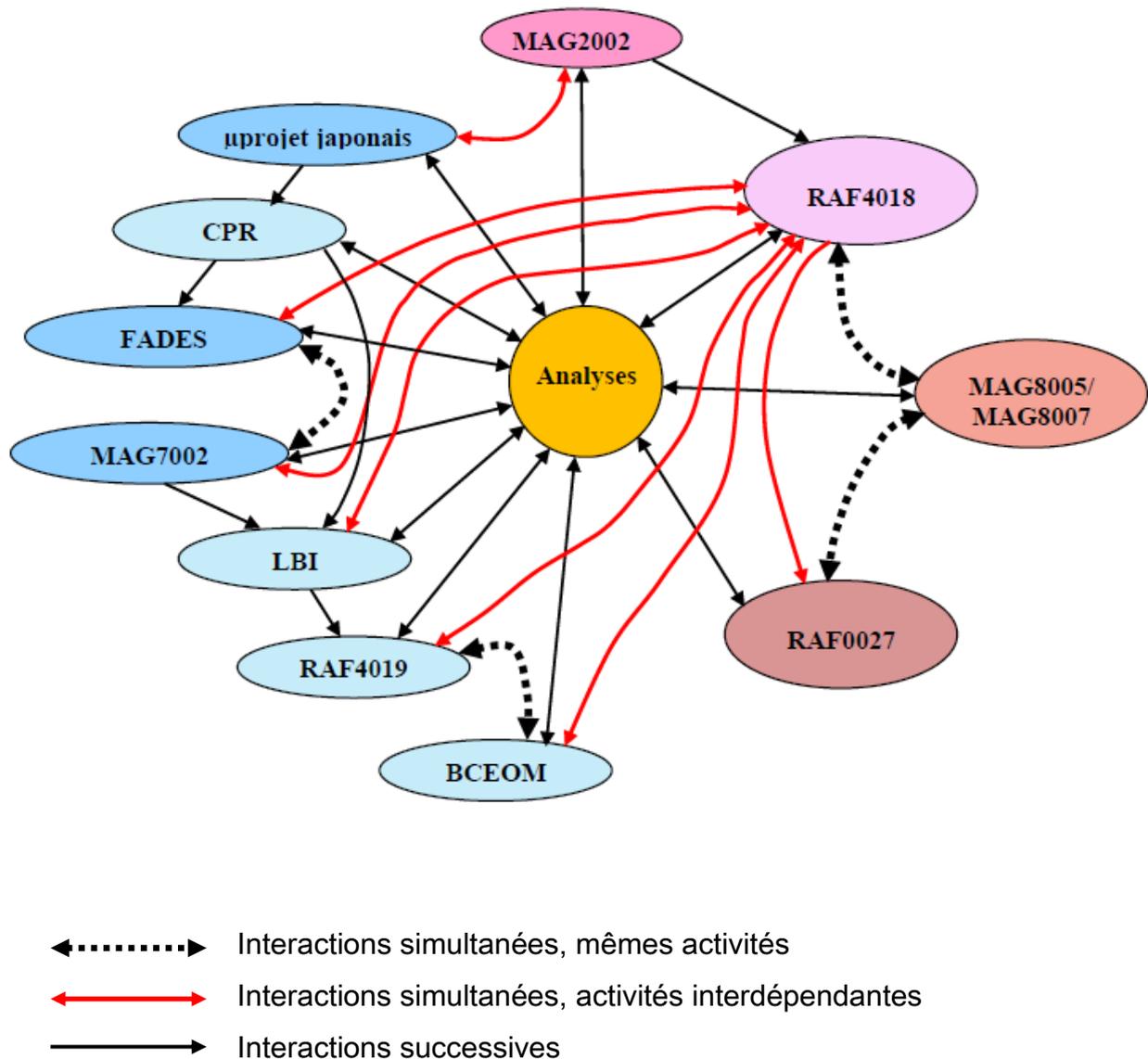


Figure 8- Interactions entre les projets de recherche

Nos actions de recherche comprennent dans leur grande majorité une importante partie expérimentale in situ ou/et en laboratoire. Il est essentiel d'appuyer les connaissances sur des résultats expérimentaux fiables. Des méthodes techniques et des outils analytiques adaptés doivent être utilisés pour évaluer au mieux la représentativité des données. Le thème "Analyses" se trouve ainsi en relation avec presque tous les projets

• **MAG2002 (1993-1996): Renforcement de la capacité d'analyses au sein de l'INSTN**

Financement : AIEA

Coordinateur : Dr. L.V. Rakotozafy

Objectif : Améliorer la performance de l'INSTN en matière d'analyses.

Thème : Système Qualité

Activités :

- Acquisition d'un nouvel appareil de mesures et les accessoires y afférentes : le module « Fluorescence X à réflexion totale ». Le montage a été effectué par Dr. P. Kregsamer, expert dépêché par l'AIEA qui a assuré lui-même la formation du staff
- Acquisition d'un four ( $T \leq 1000^{\circ}\text{C}$ )
- Validation de la méthode d'analyses par Fluorescence X à réflexion totale
- Suivi du projet au travers de mission d'expert de l'AIEA en la personne de Dr. P. Kump
- Application de la méthode sur les analyses des eaux de rejets industriels, les eaux de surface
- Formation des chercheurs par le biais des bourses, des cours régionaux et internationaux

Résultats obtenus :

- La méthode d'analyses par Fluorescence X à réflexion totale est maîtrisée
- L'utilisation de la technique susmentionnée commence à être effective à partir de 1996

• **Microprojet japonais (1996) : Recherche sur la pollution environnementale**

Financement : Banque Mondiale/ Ministère de la Recherche Scientifique

Coordinateur : Dr. L.V. Rakotozafy

Objectif : Contrôler la qualité des eaux de surface et la qualité de l'air de la ville d'Antananarivo

Thème : Environnement physique

Zones d'étude : Région d'Analamanga

Ecosystème concerné : air, eaux usées, eaux de surface

Paramètres d'intérêt : les métaux lourds, les matières particulaires

Les intervenants : les chercheurs du département XRFE

Activités :

- Réalisation des campagnes de prélèvement d'eaux et d'air
- Exécution des travaux d'analyses au laboratoire
- Traitements informatiques des données d'analyses
- Elaboration des rapports scientifiques
- Publications des résultats

Résultats obtenus :

- L'effectif du personnel qualifié de l'INSTN a augmenté
- Puisque les activités de recherche du « Microprojet japonais » sont insérées dans le calendrier du projet MAG2002, les principaux résultats ont par conséquent servis pour partie dans les travaux effectués dans le cadre de notre thèse (1996) et de trois mémoires de DEA (1996) dont ceux de Mlles Elise Octavie Rasoazanany sur « Application de la Fluorescence X à l'étude des pollutions des eaux d'Antananarivo », de Lova Herisoa Navalona Rakotonirainy sur le thème « Contribution à l'étude de la pollution des eaux du canal Andriantany par la méthode de la Fluorescence X » et de Sahondra Ranivoarinoro sur « Contribution à l'étude de la pollution des eaux de l'Ikopa par la méthode de la Fluorescence X ».

#### • **Contrat Programme de Recherche (1998-1999) : Urban Air Pollution Study**

Financement : AIEA

Coordinateur : Dr. L.V. Rakotozafy

Objectif : Renforcer la capacité du laboratoire d'analyses par Fluorescence X et Environnement de l'INSTN dans la recherche sur la pollution de l'air

Thème : Environnement physique

Zones d'étude : Commune Urbaine d'Antananarivo

Ecosystème concerné : air

Paramètres d'intérêt : les métaux lourds, les matières particulaires

Les intervenants : les chercheurs du département XRFE

Activités :

- Acquisition d'un nouvel appareil de prélèvement d'air et des accessoires y afférentes : l'échantillonneur d'air « DICHOTOMOUS ».
- Réalisation des campagnes de prélèvement d'air (Une première série en 1998, une seconde en 1999 et une troisième en 2002)
- Exécution des travaux d'analyses au laboratoire
- Traitements informatiques des données d'analyses
- Validation des méthodes d'échantillonnage et d'analyses des dépôts sur filtres
- Elaboration des rapports scientifiques
- Publications des résultats

Résultats obtenus :

- Chercheurs plus compétents dans le domaine de la pollution de l'air
- Un article intitulé « Application de la fluorescence X à réflexion totale à l'étude des matières particulaires et des métaux lourds de la pollution de l'air dans la ville d'Antananarivo, Madagascar » est publié dans la Revue Pollution Atmosphérique (2003)

• **FADES SP99v1b\_21 (2000-2004) : Contribution à l'évaluation de la pollution environnementale par des études pluridisciplinaires**

Financement : Banque Mondiale/ Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Coordinateur : Dr. L.V. Rakotozafy

Co-pilotage avec M. Hery Tiana Rakotondramanana

Partenaires : Service des Maladies Respiratoires de l'Hôpital Général de Befelatanana et le Service Oncologie de l'Hôpital Joseph Ravoahangy Andrianaivalona (HJRA) pour le côté santé et le Département de Sociologie de la Faculté de Droit, Economie, Gestion et Sociologie (DEGS) de l'Université d'Antananarivo pour le côté socio-économique

Objectif : renforcer la structure de recherche sur la pollution environnementale dans une approche pluridisciplinaire