

**Huitième réunion des Directeurs de recherche sur l’ozone
des Parties à la Convention de Vienne
Genève (Suisse), 28 - 30 mars 2017
(PNUE / OMM)**

Rapport des Comores

I INFORMATIONS GENERALES

1. Présentation du pays

L’Union des Comores est constituée d’un archipel de quatre îles situées dans le Canal de Mozambique à environ 200 KM du Nord ouest de Madagascar et à 300 km à l’est du Mozambique ; elles couvrent une superficie de 2236 km² : Grande Comore (Ngazidja : 1148 km²), Anjouan (Ndzouani : 374 km²), Mohéli (Mwali : 290 km²) et Mayotte (Maore : 424 km²). Mayotte est toujours sous administration française malgré l’indépendance des Comores en 1975. Le relief est accidenté et volcanique et les sol et sous-sol sont dépourvus des ressources minières et énergétiques, mais ont beaucoup de potentialités agricoles.

Le climat tropical mais tempéré à la fois par l’altitude et par l’influence océanique est caractérisé par deux saisons : saison chaude et humide (**novembre à avril**) marquée par de fortes pluies et des vents violents (kashikasi) et une saison sèche et fraîche (**mai à octobre**) caractérisée par des vents (kusi) avec des températures oscillant entre 24 et 30° C, d’où l’utilité et la consommation du froid (climatisation, réfrigération, congélation, chambre froide etc...).

NB : Le présent document se réfère uniquement aux trois îles indépendantes regroupées au sein de l’Union des Comores. La superficie totale de ces trois îles est de 1862 km².

Le recensement **général de la population et de l’habitat (RGPH)** de 200 indique 576 000 habitants. **La population urbaine à 28% et rural 72%, est en majorité concentrée sur la zone côtière.** Ainsi l’environnement subit une série d’agressions à cause de l’ignorance de la population ou tout simplement pour le désespoir de survie. Le taux d’accroissance annuel moyen étant de 2,1% entraînant un doublement projeté de la population en 33 ans ; les projections de ce recensement donnent une population de 716 000 en 2013 repartis inégalement dans les îles.

Le document de stratégie de croissance et de réduction de la pauvreté (DSCR), adopté en 2005, constitue le cadre global de développement économique du pays. Ce document accorde une priorité centrale à la promotion du développement agricole, identifié comme moteur de croissance économique.

Le gouvernement a également élaboré un rapport sur les Objectifs du Millénaire pour le Développement qui renforce les actions du DSCR dans le secteur agricole par la réduction de moitié entre 1990 et 2015, de la population qui souffre de la faim et l’inversion de la tendance actuelle à la déperdition des ressources environnementales

2. CADRE INSTITUTIONNEL ET JURIDIQUE

a) Cadre institutionnel

Le Bureau Ozone Comores (BOC) est créé au sein de la Direction Générale de l’Environnement au Ministère de la Production, de l’Environnement, de l’Energie, de l’Industrie et

de l'Artisanat (MPEEIA) qui est chargé de la tutelle institutionnelle de la protection de la couche d'ozone. Le Bureau Ozone a pour mission d'assurer la coordination et d'impulser toute la politique nationale pour la protection de la couche ozone.

Les personnes ressources y sont affectées pour la gestion quotidienne du programme et un Comité Ozone, impliquant tous les acteurs concernés renforce l'efficacité du Bureau Ozone Comores.

Pour plus d'efficacité le BNO s'appuie sur les associations ses frigoristes des trois îles et de l'Ecole Technique professionnelle d'Anjouan

b) Cadre juridique

Depuis 1993, les Comores sont dotées d'une Politique Nationale de l'Environnement :

- La loi cadre n° 94-018 relative à l'environnement stipule dans son article 38b : «un décret portant des mesures pour limiter et réduire l'importation, la production, la consommation et l'exploitation des substances de nature à détruire la couche d'ozone et encourager le recours à des substances et techniques de substitution »,
- La loi n° 94-011 autorise le Président de la République à ratifier la Convention de Vienne, le Protocole de Montréal et ses amendements

Les Comores, à l'instar de la communauté internationale soucieuse de préserver un environnement sain pour les générations présentes et futures, ont adhéré à la dynamique d'asseoir un cadre juridique international en ratifiant :

en 1994,

- la Convention de Vienne,
- le Protocole de Montréal,
- l'Amendement de Londres ;

et en 2002,

- l'Amendement de Copenhague,
- l'Amendement de Montréal,
- l'Amendement de Beijing.

La mise en application de ces instruments juridiques internationaux s'est traduite sur le plan local par :

- la signature d'un arrêté interministériel, en 2001, réglementant l'importation aux Comores, des SAO, des équipements et autres appareils utilisant ces substances.
- l'introduction d'un système des licences afin de pouvoir mieux gérer les quotas à l'importation des SAO jusqu'à leur élimination pure et simple en 2010.

3. Secteurs d'utilisation des HCFC

Le secteur du froid aux Comores est constitué principalement de la réfrigération et de la climatisation domestiques et industrielles, mais aussi de la réfrigération commerciale.

Tous ces sous-secteurs utilisent principalement des HCFC et dépendent majoritairement des ateliers de réparations et d'entretien dont les propriétaires constituent des partenaires privilégiés dans le processus d'élimination des substances nocives à l'ozone.

Ces acteurs constituent les principales cibles pour la sensibilisation et la formation pour la mise en œuvre des mesures d'élimination des SAO

4. Substances réglementées visées

Les résultats des enquêtes nationale sur la consommation des HCFC illustrée dans le tableau ci-après dans les sous secteurs d'utilisation et le parc d'équipements correspondant montre l'exclusivité du R22 dans le secteur de l'entretien.

Tableau 1 : Parc National des Equipements frigorifiques utilisant les HCFC 22

Installation	Climatiseurs						Chambre froide	Refrigerateur d'eau	Fabrique glace
	9000 BTU	12 000 BTU	18 000 BTU	24000 BTU	48000 BTU	Climatisation Centrale			
Total	3330	8650	8390	1480	153	4	55	110	20

Le parc national est dominé par la climatisation.

5. Projets réalisés pour élimination des CFC et des HCFC

Dans le cadre de la mise en œuvre du Protocole de Montréal d'une part, et d'autre part du partenariat avec le Secrétariat Exécutif de l'ozone, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, le Fonds Multilatéral ainsi que le PNUD, les Comores ont bénéficié d'une assistance technique et financière caractérisée par un ensemble de projets pour la Protection de la couche d'ozone. Cet ensemble de projets qui visait comme objectif, l'élimination des Substances Appauvrissant la couche d'Ozone (SAO) avant 2010, se présente comme suit :

a) Objectifs des projets

- Préparation du programme pays : réaliser un diagnostic de la consommation des SAO et projeter des mesures appropriées pour une gestion rationnelle des ces substances ;
- Renforcement institutionnel : renforcer les capacités institutionnelles nationales en vue de protéger la destruction de la couche d'Ozone par l'élimination progressive des SAO et par la promotion des produits de substitution ;
- Plan de gestion des fluides frigorigènes (PGFF) : planifier et gérer d'une manière dégressive les fluides frigorigènes nocives importées et existantes au niveau du pays en vue de leur élimination définitive programmée d'ici 2010 ;
- Projet régional de bromure de méthyle : mise en place d'une stratégie nationale pour prévenir l'introduction et la diffusion des utilisations du bromure de méthyle ;
- Préparation et mise en œuvre du programme d'élimination finale des fluides frigorigènes d'ici 2010 (TPMP) ;
- préparation et mise en œuvre du PGEH: planifier l'élimination progressive des FCFC d'ici 2030

b) Impact des projets réalisés

L'ensemble de projets et programmes a découlé de l'adhésion des Comores au Protocole de Montréal. Les activités réalisées ont concouru à un renforcement des capacités institutionnelles, à une amélioration du savoir faire des acteurs impliqués et leurs moyens logistiques, une prise de conscience d'une grande partie de la population sur la problématique de l'ozone ainsi qu'une compréhension et une implication effective des autorités politiques

L'impact se traduit aujourd'hui par :

- Une prise de conscience de la population et des acteurs (douaniers et frigoristes) sur les enjeux liés à la destruction de l'ozone ;
- Une prise de conscience des autorités et une intégration de la problématique de l'ozone dans la politique environnementale nationale ;
- Une maîtrise par les frigoristes des techniques de manipulation des gaz prohibés et d'utilisation des gaz alternatifs ;
- Une maîtrise par les douaniers des techniques de contrôle des SAO ;
- Une disponibilité d'équipements et outillages appropriés aux différents types de gaz (anciens et nouveaux)

- Une opérationnalisation du bureau ozone Comores et une reconnaissance au niveau international ;
- L'établissement d'un cadre de concertation opérationnel entre les institutions et partenaires nationaux (administrations, associations de frigoristes et douaniers ; écoles de formation technique et médias) ;
- La mise en place d'un cadre réglementaire opérationnel et accepté par tous ;
- Une conformité du pays par rapport aux exigences du protocole de Montréal à l'échéance 2010 (élimination totale des CFC) ;
- Le lancement d'un dispositif national pour garantir le respect futur des engagements liés au processus en cours d'élimination des HCFC ;
- Asseoir les bases d'une stratégie d'élimination des HCFC

Tableau 2 : consommation de CFCs aux Comores

Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
CFC-12	3.6	2.5	2.7	1.9	1.8	1.2	1.1	0.9	0.8	0.3	0.0	0.0	

6. Lessons learn from ODS phase-out

L'ensemble des dispositifs mis en place dans le processus d'élimination des CFC et la collaboration établie entre le Bureau ozone et ses partenaires nationaux et internationaux se sont avérés efficaces, ce qui a permis une bonne compréhension de la problématique ozone par les acteurs, une adoption participative et une acceptation de la stratégie d'élimination des SAO, ce qui a conduit notre pays à une conformité avant la date arrêtée. Cette stratégie qui a apporté ses fruits mérite d'être capitalisée à travers son intégration dans les projets en cours de préparation notamment le PGEH

II Plan de Gestion et d'Elimination des HCFC (PGEH)

II.1 Stratégie d'élimination

L'Union des Comores étant Partie au Protocole de Montréal doit, conformément à la décision XIX/6 et à l'article 5, mettre en place le cadre réglementaire approprié et prendre les mesures nécessaires à la gestion rationnelle de l'importation et l'utilisation des HCFC ainsi que des équipements contenant ces substances.

Le but du PGEH est de réaliser des cibles de réduction des HCFC jusqu'à leur élimination :

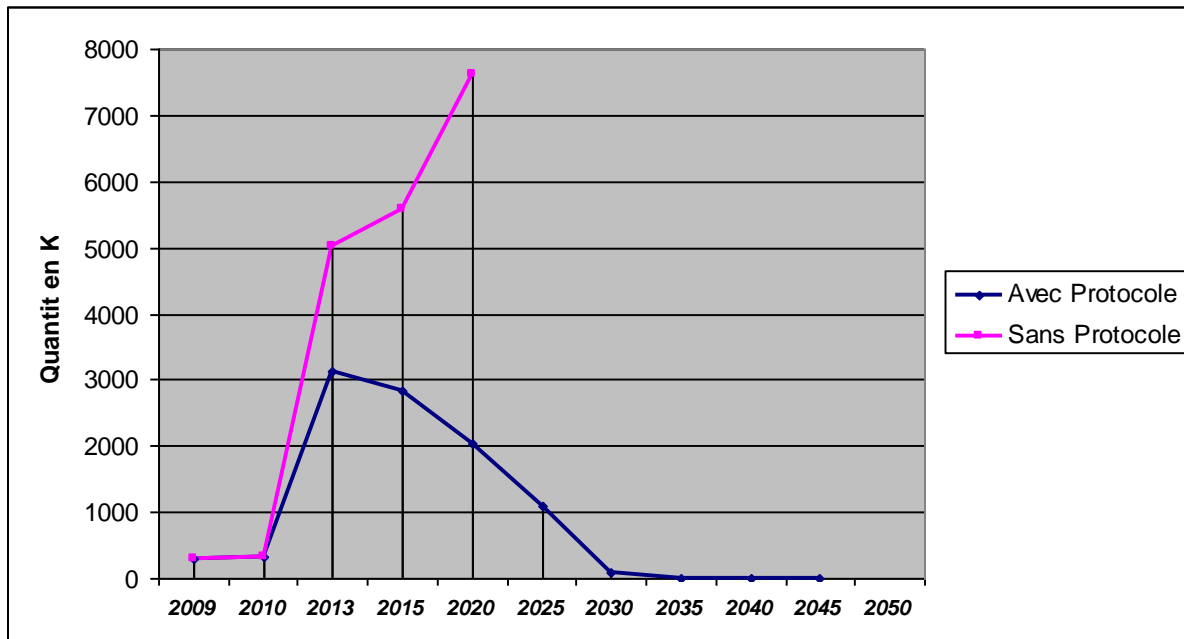
- Gel à partir de 2013 de la quantité des HCFC, suivi d'une réduction de 15% en 2015.
- Réduction progressive des HCFC par rapport à la valeur de 2013 (35% en 2020, 65% en 2025, 97,5% en 2030) puis, élimination totale entre 2016 et 2030.

Tableau 2 : Prévisions de la consommation en HCFCs, sans et avec le PM:

PHASE	PHASE 1											
ANNEE	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PREVISIONS SANS PM	2,5	2,85			5,00		5,60					7,7
PREVISIONS AVEC PM	2,5	2,85			3,15		2,98					2,04
PHASE	PHASE 2											
ANNEE	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030		

PREVISIONS SANS PM												
PREVISIONS AVEC PM					1,09					0,078		

Graphique 1 : Évolution prévisionnelle de la consommation des HCFC de 2009 à 2040, Avec protocole et sans protocole



La prévision de la consommation en HCFC suit une progression croissante si l'on n'applique pas le protocole sur l'élimination progressive des HCFC comme l'indique le graphique 1. On atteindrait des niveaux de consommation très élevés à l'horizon 2050 contrairement aux recommandations du protocole sur l'élimination des HCFC

II.2 Resultats obtenus pour la mise en œuvre du PGEH

La mise en œuvre de la première phase du PGEH a permis de :

- capitaliser les acquis des projets antérieurs sur l'élimination des CFC ;
- former un nombre important de frigoristes et douaniers sur les nouveaux enjeux du protocole notamment sur les risques liés à l'utilisation des gaz alternatifs ;
- poursuivre l'approvisionnement des équipement appropriés (Kits et identificateurs) aux frigoristes et douaniers,
- préconiser une réadaptation-révision) du cadre réglementaire pour intégrer les nouveaux enjeux.

La 2eme phase du PGEH a porté sur la poursuite des mêmes activités que la phase I

Notamment la collecte des informations sur les HCFC, pour la période 2011-2015, qui s'est réalisée d'une manière facultative car les enquêtes en cette période portait sur les SAO règlementés ; ces enquêtes générales ont, néanmoins, permis d'obtenir les données estimatives consignées dans le tableau 3 ci-après.

Tableau 3 : Consommation de HCFC aux Comores (2011-2015, données au titre de l'Article 7)

HCFC-22	2011	2012	2013	2014	2015	Valeur de référence*
Tonnes métriques	2,10	1,98	2,11	1,91	1,62	2,48
Tonnes PAO	0,12	0,11	0,12	0,14	0,10	0,14

(*) La valeur de référence des HCFC aux fins de conformité est de 0,1 tonne PAO (sur la base d'une décimale après la virgule).

Pour ce même programme PGEH, Les Comores ont, en juin 2016, réalisé l'inventaire nationale pour la période 2012-2015 sur les alternatives aux substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) dans le cadre d'élimination future d'autres types de gaz qui, certes moins néfastes à la santé humaine, ont un impact certain dans le réchauffement climatique. Il s'agit des substances HFC.

Tableau 4 : consommation (en Tm) des HFC pur et des mélanges à HFC entre 2012-2015 dans la maintenance

	Air - conditionné				Réfrigération	
	HFC-134a	R-404A	R-410A	R-407C	HC-290	HC-600a
2012	3,14	0,75	0,50	1,21	0	0,98
2013	3,89	0,90	0,45	1,35	0	0,80
2014	2,99	0,79	0,51	1,35	0	1,00
2015	3,99	1,26	0,70	1,65	0	1,10
% (en 2015)	45,86	14,47	8,03	18,98	0	12,66

Comme l'Union des Comores ne dispose d'aucune unité de production de ces gaz, la majeure partie de la consommation des gaz HFC provient des importations de ces gaz utilisés dans les opérations d'entretiens et de maintenance dans les secteurs de la réfrigération et de la climatisation fixe et mobile comme l'indique le tableau 4 sur la consommation des HFC. Elle représente environ 65% de la consommation totale.

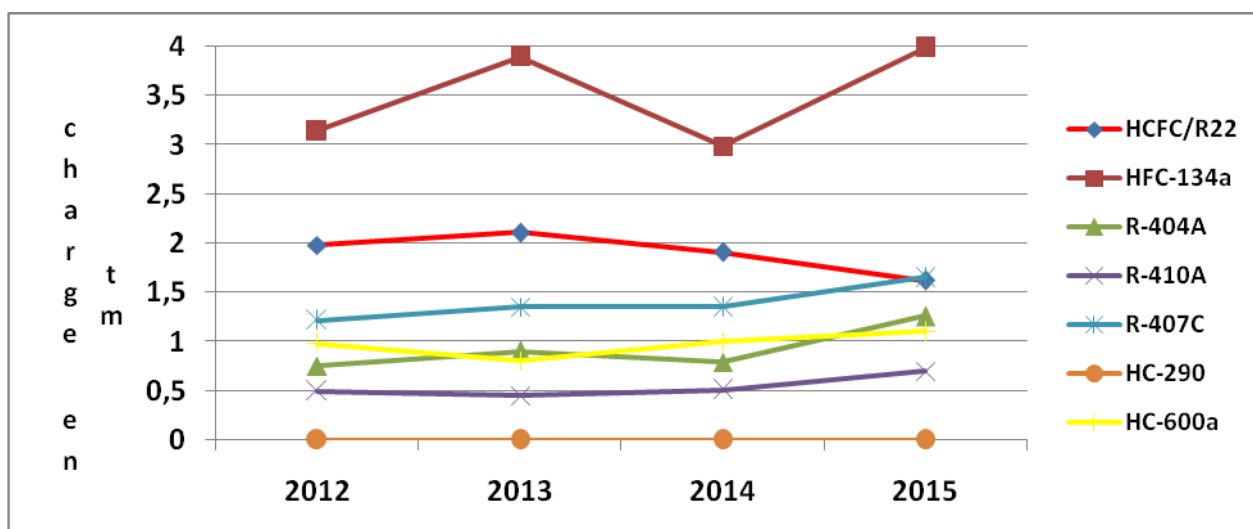
Comparaison de la consommation de HFC et HCFC/R2

Entre 2012 et 2015 l'enquête révèle une diminution de la consommation du HCFC/R22 en faveur de la consommation des alternatives. Ceci peut s'expliquer par la mise en œuvre des recommandations formulées dans le PGEH sur la réduction progressive des substances hydro chlorofluorocarbures. Cette tendance, si elle se poursuit normalement, comme l'indique le tableau 5 et le graphique 2, permettra à l'Union des Comores d'être conforme à la décision du Protocole de Montréal

Tableau 5 : consommation (en Tm) des HFC et mélanges et les HCFC entre 2012-2015

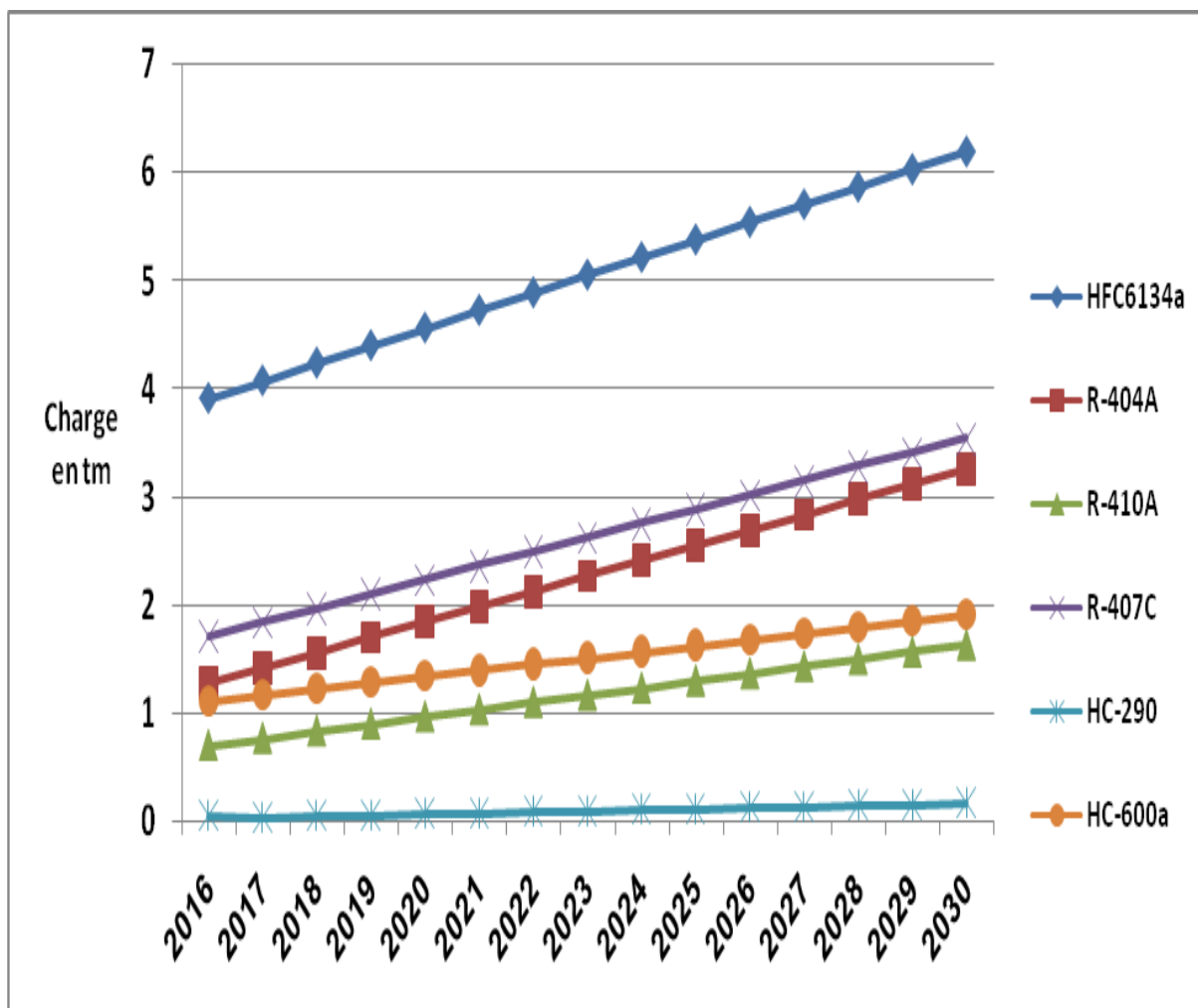
	HCFC/R22	Air - conditionné				Réfrigération	
		HFC-134a	R-404A	R-410A	R-407C	HC-290	HC-600a
2015	1,62	3,99	1,26	0,70	1,65	0	1,10
Total en (Tm) en 2015	1,62	8,694					
% en 2015	15,71	84,29					

Graphique 2 : Evolution de la consommation entre le HCFC et les HFC entre 2012-2015



Graphique 3 : projection future de la consommation du HFC en 2016-2030

Selon les données collectées, la projection en termes de consommation de ces gaz dans les quatorze années à venir indique une augmentation aussi bien pour les HFC pur que pour les mélanges de ces gaz comme l'indique le graphique 3 ci-dessous



III ACTIVITES SUR L'OBSERVATION ET LA RECHERCHE EN OZONE

Malgré la faiblesse de l'industrie du froid aux Comores, la recherche constitue un maillon essentiel pour l'accompagnement du programme Ozone aux Comores. D'importants efforts ont été déployés pour la réduction de la consommation des SAO, CFC et des résultats significatifs ont été obtenus. Ces efforts méritent d'être soutenus par la mise en place d'une Unité d'observation et de recherche sur l'ozone, devant servir de base d'orientation dans la mise en œuvre du programme ozone aux Comores :

Dans le souci d'opérationnaliser l'Unité d'observation et de Recherche sur l'ozone, il y a donc lieu d'associer l'expertise locale dans les activités de recherche au niveau international et soutenir notre pays pour le financement de projet de recherche (annexe ci-joint) sur:

- l'implantation d'une station de contrôle de la pollution de l'air afin de déterminer les principaux polluants,
- l'équipement de ladite station en instruments pour les mesures (UV-B),
- le renforcement des capacités des cadres impliqués dans les activités d'observation et de recherche,
- l'archivage des données provenant de diverses sources d'observation

7. CONCLUSION

Notre pays participe au mieux de ses moyens à l'effort mondial de mise en œuvre des dispositions planétaires sur la protection de la couche d'ozone sur le plan politique, et juridique. Le plan technique et matériel mérite d'être renforcé et soutenu financièrement.

ANNEXE
TDR du Projet de Recherche de l'Union des Comores
sur la mise en place d'un observatoire de l'ozone

1. Contexte générale

Les Comores est un petit pays insulaire de l'hémisphère sud (12° 10'S, 44° 12'E) situé à l'entrée du canal de Mozambique entre la côte Est de l'Afrique et Madagascar dans le sud-ouest de l'océan indien. Localisé au cœur du tropique, le pays bénéficie d'un climat tropical généralement composé de deux grandes saisons :

- la saison d'été austral de novembre à avril est caractérisée par des fortes convections profondes, des précipitations et des températures au sol qui peuvent atteindre 34°C.
- la saison d'hiver austral entre mai et octobre est caractérisée généralement par un ciel bien dégagé et peu de faibles précipitations.

Ces caractéristiques du climat comorien font du pays un milieu très favorable à une production photochimique massive de l'ozone. Pourtant la complexité dynamique de cette région située dans le réservoir tropical fait en sorte que l'ozone formé subit, en fonction des saisons, un « transfert » vers les moyennes latitudes sous l'action de la circulation de Brewer-Dobson. Cette circulation implique aussi le transfert dans la basse stratosphère des masses d'air riches en ozone vers les latitudes supérieures. Ainsi, les tropiques représentent un réservoir de génération d'ozone. La stratosphère tropicale est un compartiment important dans le système climatique terrestre. Elle est le siège d'une forte activité dynamique impliquant

- des échanges verticaux, notamment avec les basses couches de l'atmosphère en interaction avec les activités anthropiques ;
- des échanges isentropiques (quasi-horizontaux) conduisant au transport des masses d'air riches ou pauvres en ozone selon les saisons et selon les niveaux d'altitude.

L'évaluation du bilan de l'ozone et l'impact des actions mises en œuvre pour protéger la couche d'ozone à différentes échelles, particulièrement à l'échelle nationale et régionale, nécessitent la connaissance d'une quantité importante d'information sur la variabilité et la distribution de l'ozone dans différentes couches de l'atmosphère. A ce jour, compte tenu de la faible densité des observations dans les tropiques sud, l'état de la couche d'ozone et son évolution sont peu documentés dans nos latitudes. D'où l'intérêt de renforcer l'observation de l'ozone dans cette région tropicale et d'effectuer des recherches sur son évolution, en synergie avec les observations existantes.

2. Justification du projet à l'échelle régionale et internationale

La réalisation des mesures et des recherches sur l'ozone aux Comores représente une contribution modeste, néanmoins utile et pertinente, à l'effort de la communauté internationale pour une meilleure compréhension de l'évolution du climat de la Terre, particulièrement dans les tropiques sud où la densité des mesures est faible, voire inexistante par endroit. Ce projet de recherche peut avoir des retombés positifs au niveau régional et international. En plus des émissions anthropiques notamment des émissions de composés halogénés, les concentrations d'ozone dans l'atmosphère dépendent des émissions de gaz et aérosols volcaniques, de la variabilité naturelle et des forçages dynamiques influant sur la variabilité de la stratosphère, comme la QBO (oscillation quasi-biennale), l'ENSO (anomalie El-Niño) et les cycles solaires.

2.1. Analyse de la contribution des gaz et aérosol volcaniques sur la variabilité de l'ozone

Il est à rappeler que l'océan indien abrite plusieurs îles volcaniques, avec des volcans actifs :

- le Piton de la Fournaise à la Réunion, qui est souvent en éruption et
- le Karthala aux Comores, dont la dernière éruption remonte à novembre 2005 a fait état d'éjection d'une masse importante d'aérosol ayant couvert l'archipel et les régions environnantes.

Par ailleurs, les panaches d'aérosols émis par certains volcans, comme ceux d'Indonésie ou des Philippines peuvent atteindre facilement les Comores. De ce fait, la mise en place d'un système d'observations atmosphériques aux Comores permettra de surveiller de façon permanente la couche d'ozone et de réaliser des études pertinentes sur la contribution des gaz et aérosols volcaniques sur la variabilité de l'ozone et leurs impacts sur les tendances et changements à court, moyen et long termes.

2.2. Analyse de l'influence de la QBO sur la variabilité et la tendance de l'ozone

Il a été démontré que les oscillations quasi-biennales (QBO) du vent zonal équatorial influent de façon significative la variabilité de l'ozone aux tropiques et aux latitudes supérieures. Elles engendrent des anomalies de températures stratosphériques qui influencent la circulation de Brewer-Dobson. En effet, durant le régime d'est de la QBO, il y a une augmentation de la température des tropiques vers les subtropiques. Ce phénomène conduit à une accélération de la circulation de Brewer-Dobson durant laquelle la hauteur de la tropopause augmente, et le transport des masses d'air riches en ozone des tropiques vers les moyennes latitudes est renforcé conduisant par conséquent à des anomalies négatives d'ozone aux tropiques. Le phénomène opposé s'observe durant la phase d'ouest de la QBO. Des études ont montré que la contribution de la QBO à la variation de la concentration de l'ozone est importante au niveau des tropiques et elle diminue avec l'augmentation de la latitude. Le changement des régimes d'anomalies d'ozone induit par la QBO se produit entre 10° et 15° de latitude (Tohir et al., 2016). La mise en place d'une structure d'observation et de recherche sur l'ozone aux tropiques notamment aux Comores (12°10'S) permettra la mise en évidence de ces anomalies d'ozone induit par le forçage de la QBO, de quantifier sa contribution sur la variance totale de l'ozone, de déterminer et de suivre la variabilité de la zone de bordure entre les régimes négative et positive de l'ozone induit par le forçage de la QBO.

2.3. Analyse de la contribution des forçages océaniques sur la variabilité de l'ozone

Des recherches sur la variabilité de l'ozone aux Comores permettront de mieux quantifier des forçages d'origine océanique, comme celui

- du Dipôle Océan Indien (IOD)
- de l'oscillation ENSO (El-Niño Southern Oscillation)

et leurs contributions à la variabilité pour une meilleure estimation des tendances dans le bassin sud-ouest de l'océan indien particulièrement au niveau du canal de Mozambique.

Il a été expliqué qu'une période à forte activité El-Niño s'associe à une diminution d'ozone aux tropiques. Toutefois, nous avons montré que la part de contribution du forçage ENSO sur la variance totale de l'ozone varie d'une région océanique à un autre (Tohir et al, 2016). Nous soupçonnons que les événements El-Niño ont une influence significative sur la variabilité totale de

la couche d'ozone au niveau des Comores étant donnée l'interconnexion entre l'Océan Indien et l'Océan Pacifique (région où l'influence de l'ENSO est maximale). Pour examiner cette hypothèse, des analyses des distributions et de variabilité de l'ozone au-dessus de l'archipel des Comores sont nécessaires.

2.4. Renforcement du réseau d'observation de l'ozone dans l'hémisphère sud

L'observatoire de l'ozone aux Comores contribuera au renforcement du réseau d'observation de l'ozone à l'hémisphère sud, notamment en Afrique et dans l'océan indien où le nombre d'observatoire est très limité. Notons qu'il existait environs une douzaine des sites d'observations d'ozone en Afrique sub-saharienne et dans l'océan Indien (Irène, Springbok, Maun, Maputo, Nairobi, Malindi, Etosha Pan, Brazzaville, Lagos, Cotonou Réunion et Seychelles). Actuellement les instruments installés dans la plupart des sites ne sont pas opérationnels. D'où l'intérêt d'encourager la politique de relance des activités des sites reformés et la mise en place des nouveaux sites d'observation dans la région. Notons que la Réunion, l'Afrique du sud et le Kenya ont réussi à maintenir leurs activités. Un observatoire aux Comores renforcera le réseau d'observation Est Afrique et océan Indien.

3. Problématique du projet au niveau locale

Conscient de la nécessité de protéger la couche d'ozone pour un développement durable des écosystèmes, L'union des Comores a ratifié en octobre 1994 :

- la convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone
- Le protocole de Montréal relatif aux substances appauvrissant la couche d'ozone.

Notons que la convention de Vienne et le Protocole de Montréal sont entrés en vigueur pour les Comores le 31 Janvier 1995.

Depuis 1998, les Comores bénéficient d'une assistance technique et financière pour réaliser une série d'activités suivant un plan d'action prédéfini pour chaque pays conformément aux prérogatives et recommandations de la convention de Vienne et du protocole de Montréal. L'objectif principal des activités effectuées jusqu'à ce jour est de réduire la quantité des SAO (substances appauvrissant l'ozone) dans l'atmosphère locale d'ici 2020, selon le calendrier prédéfini par le fond Multilatéral. Ceci aura comme conséquence un rétablissement progressif de la couche d'ozone et un retour à l'état 1980 en 2050.

Par ailleurs, le rétablissement de la couche d'ozone ne peut être dissocié du changement climatique lié à l'augmentation de l'effet de serre, compte tenu du rôle joué par ce constituant dans l'atmosphère terrestre. Rappelons que le réchauffement de la planète est dû entre autres aux émissions anthropiques des gaz à effet de serre ayant pour conséquence le changement climatique. Pourtant ce changement climatique peut induire des modifications dans la stratosphère susceptibles de retarder ou bien d'accélérer le rétablissement de l'ozone, suivant les processus mis en jeu.

Sans une observation quotidienne de l'ozone à l'échelle locale, il est difficile d'évaluer l'impact des actions entrepris pour réduire les émissions des SAO (substances appauvrissant la couche d'ozone) à l'échelle nationale. D'où l'intérêt d'investir sur l'observation et la recherche sur l'évolution temporelle de l'ozone à l'échelle locale

4. Objectif globale du projet

Renforcement des capacités nationales en matière de surveillance de la qualité de l'air et de l'environnement.

5. Objectif spécifique

Acquisition d'un système permettant d'observer la colonne totale de l'ozone et d'entreprendre des recherches sur sa variabilité et sa tendance à moyenne et à long-terme.

6. Résultats attendus

- renforcement des capacités techniques et matérielles de l'Union des Comores, particulièrement l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie,
- renforcement des capacités d'entreprendre des recherches sur l'évolution du système climatique en générale et sur la couche d'ozone en particulier,
- constitution d'un réseau régional d'observation d'ozone et intégration de l'observatoire des Comores dans un réseau d'observation international (NDACC)
- évaluation des efforts entrepris sur la protection de la couche d'ozone au niveau national
- développement d'un model numérique d'analyse de l'évolution spatiale et temporelle de l'ozone à l'échelle nationale et régionale.

7. Ressources nécessaires

7.1. Ressources matérielles disponibles

La Direction de la météorologie possède du matériel suffisant pour réaliser les observations du temps et du climat :

- une antenne de réception des données satellite avec laquelle il est possible d'obtenir aussi des données sur plusieurs particules qui interagissent directement ou indirectement avec l'ozone. Bien que ces données soient de faible résolution elles peuvent servir pour la validation des travaux et des observations au sol dans le cas où besoin est,
- une connexion internet haut débit, permet de télécharger les données des forçages dynamiques et les paramètres auxiliaires nécessaires pour l'étude de la variabilité et la tendance de l'ozone et pour la conception du modèle numérique,
- un serveur avec une capacité suffisante pour la sauvegarde des données acquises,
- Un local pour abriter les instruments de mesures et de traitement des données.

7.2. Les besoins en équipement

Pour mener à terme ce projet la direction technique de la météorologie a besoin d'un supplément des matérielles notamment :

- un spectromètre de mesure de l'ozone notamment le SAOZ et les équipements annexes
- un bureau et un ordinateur performant dédié aux travaux liés à l'analyse des données
- un logiciel de traitement des données notamment le Matlab

7.3. Ressources humaines disponibles

La direction technique de la météorologie possède les ressources humaines nécessaires pour mener à bien ce projet. Les personnes qui seront impliqué directement à ce projet sont les agents affectés au service de la climatologie, observation et environnement. On note entre autres :

- Un Docteur, chargé de la surveillance de la qualité de l'air et spécialiste en ozone,
- Le chargé de la climatologie,
- Le chargé des études liées à la surveillance de l'environnement,
- Des techniciens en observation et maintenance des instruments d'observation météorologique.

Cette équipe sera appuyée par :

- Un expert national en matière de changement climatique,
- Le chargé de recherche au niveau de la direction de la météorologie,
- Un ingénieur prévisionniste,
- Le directeur technique de la météorologie,
- L'expert de recherche, Bureau -Ozone Comores

Les personnes citées travaillent déjà en synergie pour développer, coordonner et mettre en œuvre toute activité relative à la prévision du temps et du climat, à la surveillance de l'environnement et de la qualité de l'air.

7.4. Les besoins en ressources humaines

Pratiquement l'équipe présentement à la Direction de la météorologie est en mesure de lancer le projet une fois qu'elle aura acquis des formations spécialisées sur l'installation, l'opérationnalisation et la maintenance de l'équipement de mesure d'ozone. Par contre, une fois qu'il y'aura suffisamment des données exploitables, l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie va appuyer financièrement ce projet pour recruter des stagiaires et/ou d'un assistant de recherche sur l'ozone de profil géosciences (géosphère), pour l'exploitation des données.

8. Activités

Les principales activités du projet sont les suivantes :

8.1. Achat d'un mini-SAOZ en France

L'Achat du mini SAOZ se fera au près du concepteur de l'appareil à savoir : « Gordien Strato » en France. Le SAOZ a été développé au début des années 80 et elle est utilisée pour la première fois à Dumont d'Urville pour mesurer les colonnes totales de l'ozone dans le cadre de la surveillance du trou d'ozone en Antarctique. C'est un spectromètre UV –visible qui mesure la lumière solaire rétrodiffusée à partir du zénith. L'instrument est désigné pour les observations de la colonne verticale de l'O₃ et du NO₂ dans une bande spectrale de longueur d'onde comprise entre 300 et 600 nm suivant une résolution de 0.8 nm Les observations sont effectuées depuis la surface terrestre pendant le lever et le coucher du soleil. Les observations faites pendant le lever et le coucher du soleil permettent de maximiser le parcours optique dans la stratosphère (20 fois plus que le parcours optique dans la troposphère), ce qui permet d'examiner la stratosphère. La précision des mesures est de 4.7% pour l'O₃ et 10% pour le NO₂

8.2. Organisation d'une mission de transport et d'installation de l'équipement

Etant donné que l'équipement devrait être acheté en France, une mission de transfert de l'équipement de la France aux Comores doit être faite. Vu que le poids de l'instrument est inférieur à 30kg, celui-ci sera transféré par avion. Deux (2) techniciens doivent accompagner l'appareil pour son installation.

8.3. Organisation d'une formation sur l'opérationnalisation et la maintenance

Après installation, les techniciens doivent donner une formation sur l'opérationnalisation et la maintenance de l'appareil. Cette phase est très importante pour la pérennité du projet. La formation sera dispensée aux techniciens et aux observateurs de la direction de la météorologie

8.4. Observation continue de l'ozone et des composées auxiliaires

L'observation de l'ozone après installation de l'appareil constitue une des activités principales du projet. Cette activité sera maintenue aussi longtemps que possible et elle comprend 4 phases à savoir : l'acquisition, le traitement, la validation et la sauvegarde de la donnée journalière. Une autre activité prévue dans ce volet est la mise des données nationales sur un réseau d'observation régional et international

8.5. Réalisation des recherches sur l'ozone au niveau local et régional

Les études de recherche sur l'ozone seront axé sur :

- l'analyse de la distribution saisonnière et la variabilité interannuelle de l'ozone,
- l'étude des anomalies d'ozone et les principales sources,
- l'étude de l'impact des SAO et de la pollution locale sur la variabilité de l'ozone à l'échelle régionale
- l'étude des tendances de l'ozone à court, moyen et à long-terme
- la conception d'un model numérique servant à prévoir l'évolution spatio-temporelle de l'ozone.

9. Coût de réalisation des activités

Le coût estimé pour la réalisation des activités mentionnées est de **60 585€** repart de la manière suivante

Désignation	Description	Coût Totale en €	Période d'exécution
Achat Mini-SAOZ	Prix d'Achat d'un Mini-SAOZ depuis le concessionnaire en France	45 000	6 mois
Achat d'un logiciel de traitement des données	Achat d'un ordinateur et d'un logiciel de traitement des données (MATLAB)	2 500	2 mois
Achat Matériel bureautique	Achat des fournitures pour aménager un bureau pour l'installation des matérielles annexes et le traitement des données	1 500	1 mois
Frais de transport et dédouanement des équipements	Frais alloué au transport du Mini-SAOZ par avion, à l'assurance et au dédouanement des équipements aux Comores	2 200	2 jours
Mission 2 technicien	2 billets d'avion et perdiem de deux (2) techniciens pour accompagner les matérielles, l'installer et dispenser les formations pour l'opérationnalisation et la maintenance des équipements	4 000	7 jours
Renforcement de Capacité	Frais alloué à l'assistance technique et aux ateliers de formation des techniciens	2 500	5 jours
Total	Montant total alloué aux activités prévues	57 700	
Marge de sécurité	57700 x 0.05	2 885€	
COUT-TOTAL		60 585	

10. Approche méthodologique de mise en œuvre

Une commission mixte Météo-Bureau Ozone sera mise en place pour l'administration et le suivi du projet. Le projet sera abrité par l'ANACM

11. Pérennisation du projet

Ce projet est inscrit dans le cadre des activités du bureau ozone-Comores et de la direction de la météorologie dans le programme sur l'observation de la terre et la surveillance de la qualité de l'air et l'environnement à partir des outils de télédétection. Dans ledit programme, un poste d'assistant de recherche sur la qualité de l'air est prévu. La personne à recruter aura comme principale mission, la valorisation et le traitement des données des composés atmosphériques y compris l'ozone. Donc le projet aura le soutien entier de la direction de la météorologie pour sa pérennisation.

12. Quelques bibliographies en rapport avec le projet

Bencherif, H., Diab, R. D., Portafaix, T., Morel, B., Keckhut, P., and Moorgawa A.: Temperature climatology and trend estimates in the UTLS region as observed over a southern subtropical site, Durban, South Africa, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 5121–5128, doi:10.5194/acp-6-5121-2006, 2006.

Bencherif, H., El Amraoui, L., Kirgis, G., Leclair De Bellevue, J., Hauchecorne A., Mzé N., Portafaix, T., Pazmiño, A., and Goutail, F.: Analysis of a rapid increase of stratospheric ozone during late austral summer 2008 over Kerguelen (49.4°S, 70.3°E), *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 363–373, doi:10.5194/acp-11-363-2011, 2011.

Bhartia, P. K. and Wellemayer, C. W.: TOMS v8 algorithm theoretical basis document, Technical Report, NASA, Greenbelt, Maryland, USA, 2004.

Brunner, D., Staehelin, J., Maeder, J. A., Wohltmann, I., and Bodeker, G. E.: Variability and trends in total and vertically resolved stratospheric ozone based on the CATO ozone data set, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 4985–5008, doi: 10.5194/acp-6-4985-2006, 2006.

Holton, J. R.: An introduction to dynamic meteorology 4th edition, Elsevier Academic Press, ISBN: 0-12-354015-1, California USA, 2004.

Holton, J. R., and Alexander M. J.: The role of waves in the transport circulation of the middle atmosphere, *Atmospheric Science Across the Stratopause*, *Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 123, 21-35, 2000.

Holton, J. R., Haynes, P. H., McIntyre, M. E., Douglass, A. R., Rood, R. B., and Pfister, L.: Stratosphere-troposphere exchange, *Rev. Geophys.*, 33, 403–439, 1995.

Pazmiño, A.: O₃ and NO₂ vertical columns using SAOZ UV-Visible spectrometer, *EPJ Web of Conferences*, 9, 201–214 doi: 10.1051/epjconf/201009016, 2010.

Portafaix, T., Morel, B., Bencherif, H., Godin-Beekmann, S., Baldy, S., and Hauchecorne, A.: Fine scale study of a thick stratospheric ozone lamina at the edge of the southern subtropical barrier, *J. Geophys. Res.*, 108, 4196-4205, 2003

Rigozo, N. R., Rosa, M. B., Rampelotto, P. H., Echer, M. P., Echer, E., Jean, D., Nordemann, R., Pinheiro, D. K., and Schuch, N. J.: Reconstruction and searching ozone data periodicities in southern Brazil (29°S 53°W), *Rev. Bras. Meteorol.*, 27, 2, 243 - 252, 2012.

Shepherd, T. G.: The middle atmosphere, *J. Atmos. Solar Terr. Phys.*, 62, 1587–1601, 2000.

Semane, N., Bencherif, H., Morel, B., Hauchecorne, A., and Diab, R. D.: An unusual stratospheric ozone decrease in the southern hemisphere subtropics linked to isentropic air-mass transport as observed over Irene (25.5°S, 28.1°E) in mid-May 2002, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 1927–1936, doi:10.5194/acp-6-1927-2006, 2006.

Sivakumar, V., Portafaix, T., Bencherif, H., Godin-Beekmann, S., and Baldy, S.: Stratospheric ozone climatology and variability over a southern subtropical site: Reunion Island (21°S; 55°E), *Ann. Geophys.* 25, 2321–2334, 2007.

Sivakumar, V., Tefera, D., Mengistu, G., and Botai, O. G.: Mean ozone and water vapor height profiles for southern hemisphere region using radiosonde / ozonesonde HALOE satellite data, *Adv. Geosci.* 16, *Atm. Sci.*, 263-271, 2010.

Thompson, A. M, Witte, C. J., Smit, G. J., Oltmans, S. J., Schmidlin, F. J, Logan, J. A, Fujiwara, M., Kirchhoff, W J. H., Posny, F., Coetzee, J. R., Hoegger, B., Kawakami, S., Ogawa, T., Fortuin, J. P. F., and Kelder, H. M.: Southern Hemisphere Additional Ozonesondes (SHADOZ) 1998–2000 tropical ozone climatology 2. Tropospheric variability and the zonal wave-one, *J. Geophys. Res.*, Vol 108, NO. D2, 8241, doi: 10.1029/2002JD002241, 2003

Tohir, A. M: Analyse de la variabilité et tendance de l’ozone stratosphérique aux dessus des tropique et subtropique sud, these , Université de la Reunion , Saint-Denis , Reunion (France), p. 1-150, 2016

Tohir, A. M., Bencherif, H., Sivakumar, V., El Amraoui, L., Portafaix, T. and Mbatha, N.: Comparison of total column ozone obtained by the IASI-MetOp satellite with ground-based and OMI satellite observations in the southern tropics and subtropics, *Ann. Geophys.*, 33, 1135–1146, doi: 10.5194/angeo-33-1135-2015, 2015a.

Tohir, A. M., Sivakumar, V., and Bencherif, H.: Comparison of Total Column Ozone measurements from OMI/Aura satellite with ground based instruments in the southern hemisphere, *Proc of 29th Annual conference of South African society for atmosphere science*, ISBN978-0-620-56626-1, 26-27 September 2013, Durban, (South Africa),166-169, 2013.

Tohir, A. M., Sivakumar, V., Bencherif, H., and Portafaix, T.: Study on variability and trend of Total Column Ozone (TCO) obtained from combined satellite (TOMS and OMI) measurements over the southern subtropic, *Proc. of 30th Annual conference of South African society for atmosphere science*, ISBN 978-0-620-62777-1, 01-02 October 2014, Potchefstroom (South Africa), 109-112,