



**CENTRE REGIONAL AGRHYMET**



**Etude de Faisabilité du Programme Régional  
d'Augmentation des Précipitations par Ensemencement des  
Nuages au Sahel - APENS**

*Avril 2006*

## Table des matières

<b>AVANT PROPOS</b>	4
<b>Introduction</b>	5
<b>II Contexte</b>	7
II.1 Politique sous régionale sectorielle de l'eau	7
II.2 Caractéristiques du secteur concerné	7
II.3 Caractéristiques du projet	8
II.4 Bénéficiaires et acteurs principaux	10
II.5 Documentation disponible	11
<b>III Faisabilité technique</b>	<b>11</b>
III.1 Facteurs météorologiques et climatiques	11
III.2 Organisation institutionnelle et technique de la mise en œuvre du programme	13
III.3 Moyens techniques, logistiques et infrastructures	15
III.4 Moyens humains	17
III.5 Description et rôles des composantes régionales et nationales de APENS	19
III.6 Formation et recherche d'accompagnement	23
III.7 Partenariats techniques	25
<b>IV. Incidences environnementales potentielles</b>	<b>23</b>
IV.1 Gestion de l'augmentation des précipitations	23
IV.2 Dégradation environnementale et pollution	25
IV.3 Conséquences sanitaires	26
IV.4 Lutte contre la désertification et gestion des ressources naturelles	27

## **V. Faisabilité économique**

V.1.1	Analyse économique du programme	27
V.1.2	Rentabilité économique du programme	29
V.1.3	Impact socio-économique	36
V.2	Estimation du coût de faisabilité type du programme pour un pays membre du CILSS	38

## **VI. Faisabilité financière**

VI.1	Analyse financière	39
VI.2	Plan de financement	42
VI.3	Partenariats	45
VI.4	Suivi et évaluation	47

## **Conclusions et recommandations**

## **ANNEXES TECHNIQUES**

## AVANT PROPOS

Pour réduire l'impact des déficits pluviométriques devenus chroniques dans le Sahel, l'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages constitue une voie que les pays membres du CILSS ont décidé de prospector. A cet effet, le CILSS a entrepris d'élaborer un programme régional d'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages pour l'ensemble de ses Etats Membres. Le Programme d'Augmentation des Précipitations par Ensemencement des Nuages au Sahel (APENS) est l'aboutissement d'un processus politique et scientifique dont les principaux éléments sont :

La Recommandation du Conseil des Ministres du CILSS (Banjul, décembre 2002) invitant le CILSS à «Entreprendre et renforcer ses activités particulièrement sur la petite irrigation et l'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages» ;

L'élaboration par le CILSS d'un projet de programme d'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages, dans le cadre de la mise en œuvre de la Recommandation du Conseil des Ministres de Banjul ;

La Déclaration des Chefs d'Etat et de Gouvernement du CILSS lors de leur XIV<sup>ème</sup> sommet tenu le 25 janvier 2004 à Nouakchott intitulée « **Maîtriser l'eau pour faire reculer la faim** » ;

La Plateforme Commune des Pays Sahéliens pour la Maîtrise de l'Eau au Sahel, a retenu comme troisième action prioritaire : « Sécuriser les productions agro- sylvo - pastorales par l'ensemencement des nuages ».

Les expériences passées : pour des raisons socio-économiques propres, plusieurs pays membres du CILSS ont entrepris de par le passé des ensemencements de nuages, démontrant ainsi la faisabilité de telles expériences dans la sous - région ;

Les expériences opérationnelles en cours au Sahel, en particulier le Programme SAAGA du Burkina Faso opérationnel depuis 1998 et qui a démontré que la sécheresse peut être réduite substantiellement par la mise en œuvre d'un programme d'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages, conçu, planifié et conduit de façon organisée.

A la date d'aujourd'hui, le programme régional a fait l'objet d'une étude ayant permis de disposer d'informations utiles sur les objectifs et résultats attendus, la durée, le coût et le financement, ainsi que le calendrier de mise en œuvre du programme. Cette étude a aussi permis d'organiser une conférence scientifique au mois de mai 2004 à Ouagadougou, qui a vivement recommandé la mise en œuvre rapide de ce programme. Sur cette base, le CILSS a entrepris d'organiser une conférence ministérielle et une table ronde des partenaires au développement prévues pour se

tenir courant 2006 à Genève. Dans cette perspective, il est apparu nécessaire de réaliser une étude de faisabilité de ce programme pour permettre de disposer de l'ensemble des informations requises pour de telles rencontres. C'est l'objet du présent rapport.

## I. Introduction

La principale entrave à une sécurité alimentaire durable et à une gestion rationnelle des ressources naturelles au Sahel est la pluviométrie et sa forte variabilité inter et intra saisonnières. Aussi, le véritable défi pour le CILSS consistera à répondre aux besoins en eau d'une population en forte croissance, qui atteindrait 85 millions d'habitants en 2015 et 100 millions en 2025 et, dont la moitié vivra probablement en ville, ainsi qu'aux besoins d'une économie agro-pastorale reposant essentiellement sur la pluviométrie. Etant donné que dans la plupart des cas une baisse significative des ressources en eau disponibles par habitant est prévue à ces horizons, du fait notamment de la combinaison des facteurs climatiques et démographiques, ce programme doit être considéré comme une composante essentielle d'une gestion intégrée des ressources en eau au Sahel, en même temps qu'un élément de la stratégie d'adaptation aux effets néfastes de la variabilité et changements climatiques. En effet, les études récentes effectuées au Centre Régional AGRHYMET, dans le cadre du Projet « Appui aux Capacités d'Adaptation aux Changements Climatiques au Sahel », montrent, par exemple, que les changements climatiques, suivant les scénarii utilisés, induiront pour la production céréalière essentiellement pluviale une baisse considérable de 10 à 50% des rendements grains des variétés de mil ZATIB et de sorgho MOTTA aux horizons considérés (2020 –2050, 2080).

A noter également que, le recours à l'ensemencement des nuages pour augmenter les précipitations peut dans une certaine mesure, réduire l'indice de dépendance des ressources en eau de certains pays tels que le Niger ou la Mauritanie.

Des opérations d'ensemencement des nuages en vue d'augmenter les précipitations ont été menées en zone CILSS depuis les années 1960. Ces actions bien que discontinues, ont montré que la zone sahélienne présente des atouts rendant possibles de telles opérations, dont les fortes convections naturelles et le développement vertical particulier des nuages.

La première conférence scientifique du CILSS en la matière, organisée à Ouagadougou en mai 2004 a été le cadre de définition de la stratégie à mettre en oeuvre pour la réalisation du programme-cadre régional CILSS d'augmentation des précipitations par ensemencement des

nuages. Son principal objectif était d'élaborer le contenu organisationnel, opérationnel, technique et scientifique du Programme.

L'un des résultats de cette conférence est la proposition de conduire les opérations dans le cadre de ce programme en distinguant les pays du CILSS selon qu'ils soient enclavés, à façades maritimes ou insulaires. De plus, les Forces Armées aériennes des pays membres seront responsables de ces opérations qui s'appuieront sur des vecteurs aériens et terrestres, selon l'opportunité. L'évaluation des opérations se fera aussi bien au niveau national, qu'aux niveaux des sous zones, sous-régional et international.

Dans la pratique, il est prévu de mener des opérations dites systématiques en début et en fin de saison de pluies, soit entre les mois de juin et d'octobre, et des opérations occasionnelles en fonction du déroulement de la saison des pluies, pour répondre aux sollicitations des utilisateurs finals.

La création et le renforcement des capacités humaines sont envisagés à travers des formations académiques et professionnalisantes. En appui au programme, il est aussi envisagé la mise en place de structures sous régionales spécialisées.

L'établissement d'un partenariat actif, de même que des collaborations multiformes avec des organismes régionaux et internationaux spécialisés dans le domaine, ainsi qu'avec des programmes nationaux ou régionaux similaires, constitueront l'une des actions prioritaires de la mise en œuvre du programme régional du CILSS d'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages.

La présente étude de faisabilité vise à compléter et à préciser davantage le contenu de l'étude déjà réalisée sur le programme APENS, de manière à mieux répondre aux attentes du Conseil des Ministres et des partenaires au développement. Elle doit permettre de disposer d'informations consistantes sur la faisabilité technique, économique et financière du programme. L'étude doit déboucher sur un rapport de faisabilité complet avec un sous-dossier technique, un sous-dossier économique et un sous-dossier financier.

Enfin, s'agissant de ce programme dont l'étude de faisabilité constitue l'objet du présent document, le Forum EAU-SAHÉL tenu récemment à Nouakchott (Mauritanie) a fait des propositions pour une utilisation rationnelle de cette technologie au Sahel avec comme entre autres actions, la mise en place d'un cadre juridique régional, l'étude d'impact environnemental et socio-économique du programme APENS et la nécessité au niveau institutionnel, d'impliquer tous les acteurs pouvant intervenir dans ce domaine afin de travailler dans le cadre d'un esprit

pluridisciplinaire et faciliter la mise en œuvre des objectifs à atteindre (météorologues, pilotes, agronomes, hydrologues, pastoralistes, environnementalistes, vulgarisateurs, sociologues, économistes, communicateurs,..). Enfin, la plate forme commune des pays sahéliens pour la maîtrise de l'eau au Sahel présentée au quatrième Forum Mondial de l'Eau de Mexico, a retenu au nombre des trois actions prioritaires, la sécurisation des productions agro-sylvo-pastorales par l'ensemencement des nuages.

## **II. Contexte**

### **II.1 Politique sous régionale sectorielle**

Le Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) a pour mission on le sait, «*la recherche de la sécurité alimentaire et la lutte contre les effets de la sécheresse et de la désertification* », la sécurité alimentaire s'entendant, naturellement ici, par l'accès aux vivres et à l'eau potable pour la consommation domestique.

Les Chefs d'Etat et de Gouvernement des pays membres du CILSS, réunis à Nouakchott le 25 janvier 2004, en la 14ème Conférence au Sommet, ont lancé solennellement l'initiative «*Maîtriser l'eau pour faire reculer la faim au Sahel* ». L'objectif de cette initiative est de mobiliser les Gouvernements, l'ensemble des populations, les acteurs économiques, les organisations professionnelles et la Communauté internationale afin de créer une coalition mondiale qui permettra de regrouper les compétences, les savoir faire et les ressources financières pour faire de la maîtrise de l'eau une priorité stratégique de première importance de façon à réduire la vulnérabilité structurelle de la région.

### **II.2 Caractéristiques du secteur concerné**

La maîtrise de l'eau est la clé du problème sahélien parce que cette région souffre moins de disponibilité absolue de la ressource en eau que de sa mauvaise distribution dans le temps et dans l'espace et de sa gestion. Malgré ces disponibilités très importantes en eau, le Sahel reste fortement dépendant des aléas de la pluviométrie annuelle. L'essentiel de la population continue à vivre de l'agriculture pluviale qui occupe 78 % de la main d'œuvre des pays du CILSS contre 61 % pour les pays Ouest Africains non membres du CILSS. Le secteur agricole contribue pour 31 % dans la formation du PIB des pays du CILSS. Le problème fondamental du Sahel découle du fait que près de 80 % de sa force de travail (en l'occurrence sa main d'œuvre rurale) n'est

occupée que 3 mois sur 12 et reste au "chômage" pendant le reste de l'année; il est donc difficile d'envisager un développement durable dans un tel contexte.

Les options de maîtrise de l'eau telle que la technique des petites retenues d'eau ou bassins de rétention est répandue dans des pays tels que le Burkina Faso où on en dénombre plus de 1500, et l'on assiste aujourd'hui à une généralisation du recours à ces ouvrages pour soutenir notamment l'agriculture irriguée. L'autre option que constitue l'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages en est encore à l'étape expérimentale, en particulier au Burkina Faso et plus récemment au Sénégal.

Ainsi, avec pour souci de donner plus de cohérence et de direction à une démarche ancienne mais jusqu'ici relativement diffuse dans le domaine de la gestion de l'eau, le CILSS compte-t-il s'engager plus fermement dans la maîtrise de l'eau en vue d'en faire un des axes prioritaires de sa stratégie future. Dans le cadre de cette démarche régionale, il vient de formuler deux initiatives majeures qui sont:

- (a) un Programme Régional d'Appui au développement de la Petite Irrigation au Sahel (PRADPIS);
- (b) un Programme Régional d'Augmentation des Précipitations par Ensemencement des Nuages au Sahel (APENS).

### **II.3 Caractéristiques du projet**

Le Programme régional d'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages au Sahel (APENS) est un programme important de la stratégie de maîtrise de l'eau du CILSS. Il poursuit les objectifs suivants :

- ✓ Contribuer au renforcement de la sécurité alimentaire des populations sahéniennes par l'accroissement des ressources en eau, en liaison avec l'amélioration des capacités de production des sols ;
- ✓ Assurer une gestion durable des ressources naturelles ;
- ✓ Assurer la préservation et l'amélioration de l'environnement, tout en réduisant la vulnérabilité des populations sahéniennes ;
- ✓ Asseoir une stratégie régionale de lutte contre la sécheresse par une sécurisation des ressources en eau.

L'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages est une nécessité au Sahel aussi bien pour, parer aux conséquences d'un début tardif de la saison hivernale, alimenter

des barrages, conduire à maturité des récoltes compromises, favoriser un reboisement de grande échelle, élever le niveau de certaines nappes phréatiques anormalement basses lorsque ces pluies tombent sur des bassins géologiquement perméables, que mettre en place une stratégie d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques. En effet, les changements climatiques pourraient augmenter les besoins de stockage de l'eau au Sahel pour différents types d'utilisation.

L'intérêt de l'ensemencement des nuages est certain tant au point de vue économique qu'au point de vue humain, car il est évident que pour un paysan sahélien, une récolte sauvée même au prix d'un effort financier important, représente bien autre chose qu'une aide alimentaire. L'important en définitive est de savoir utiliser cet outil pour les services qu'il est capable de rendre et non pour ceux qu'on voudrait lui voir fournir.

Si cet intérêt en zone sahélienne du CILSS ne fait aucun doute, il n'en demeure pas moins que les facteurs suivants doivent être pris en considération. Ce sont :

- Les facteurs météorologiques et climatiques, qui déterminent en premier lieu la faisabilité ;
- Les facteurs sociodémographiques, définissant des priorités ;
- Les facteurs économiques, à travers les effets de ces opérations sur les secteurs clés du développement tels que : l'agriculture, l'élevage, la santé, l'énergie et l'industrie et également, le domaine de l'environnement ;
- Les facteurs humains à travers la disponibilité et/ou le renforcement des composantes en ressources humaines nécessaires.

Afin de tirer le meilleur parti possible sur le plan technique, il convient cependant d'étudier rationnellement et systématiquement son mécanisme, améliorer les techniques d'ensemencement sur la base de la pratique d'utilisation et en rechercher de nouvelles ; analyser objectivement les résultats, utiliser les études faites de par le monde et, en étudier les répercussions éventuelles. En définitive, il demeure entendu que des résultats significatifs d'opérations d'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages en zone CILSS ne pourront être atteints sans un effort soutenu et surtout, une vision à long terme. De plus, l'utilisation du terme « augmentation des précipitations » doit être considérée au sens le plus large lorsqu'il s'agit de la zone sahélienne, entendant par là, garantir autant que faire se peut des précipitations, dès lors que les conditions naturelles de base peuvent être considérées comme satisfaisantes.

Enfin, selon l'Organisation Météorologique Mondiale, il conviendra de considérer chaque intervention de cette nature comme un moyen parmi tant d'autres, dans le domaine de la gestion des ressources en eau, et de l'organiser de manière scientifique en quatre phases :

- ✓ étude de la climatologie des nuages et des précipitations sur le site choisi ;
- ✓ organisation de l'expérience en fonction de cette climatologie et de l'état des connaissances sur la physique des nuages et la modification artificielle du temps ;
- ✓ mise en œuvre d'une expérience portant sur un échantillon choisi au hasard, et comportant des mesures physiques et un suivi statistique ;
- ✓ évaluation des résultats.

#### **II.4 Bénéficiaires et acteurs principaux**

Les principaux bénéficiaires directs d'un tel programme sont bien évidemment les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de l'élevage. L'enseignement supérieur et la recherche constituent les premiers bénéficiaires indirects. Les bénéficiaires escomptés comprennent une plus grande disponibilité en eau, l'amélioration de la productivité agricole, le renforcement des capacités scientifiques et techniques des pays concernés, dans le domaine bien particulier de la modification artificielle du temps.

Au nombre des principaux acteurs intervenant dans le programme, on peut citer :

- les personnes en charge de la conduite des opérations d'ensemencement proprement dites, à savoir les pilotes des aéronefs, les ingénieurs et techniciens météorologistes ;
- les personnes en charge de la planification et de l'évaluation des opérations effectuées, à savoir les chercheurs et autres responsables des secteurs socio-économiques ;
- la coordination nationale chargée d'assurer une articulation aussi efficace que possible des diverses interventions afin que d'une part, les objectifs fixés par les responsables politiques soient atteints, et d'autre part que le programme se déroule selon les normes internationalement acceptées ;
- le système CILSS harmonisant les procédures et méthodes et, mobilisant les ressources financières indispensables à la conduite d'un tel programme.

#### **II.5 Documentation disponible**

La documentation propre au programme éditée par le Centre Régional AGRHYMET comprend :

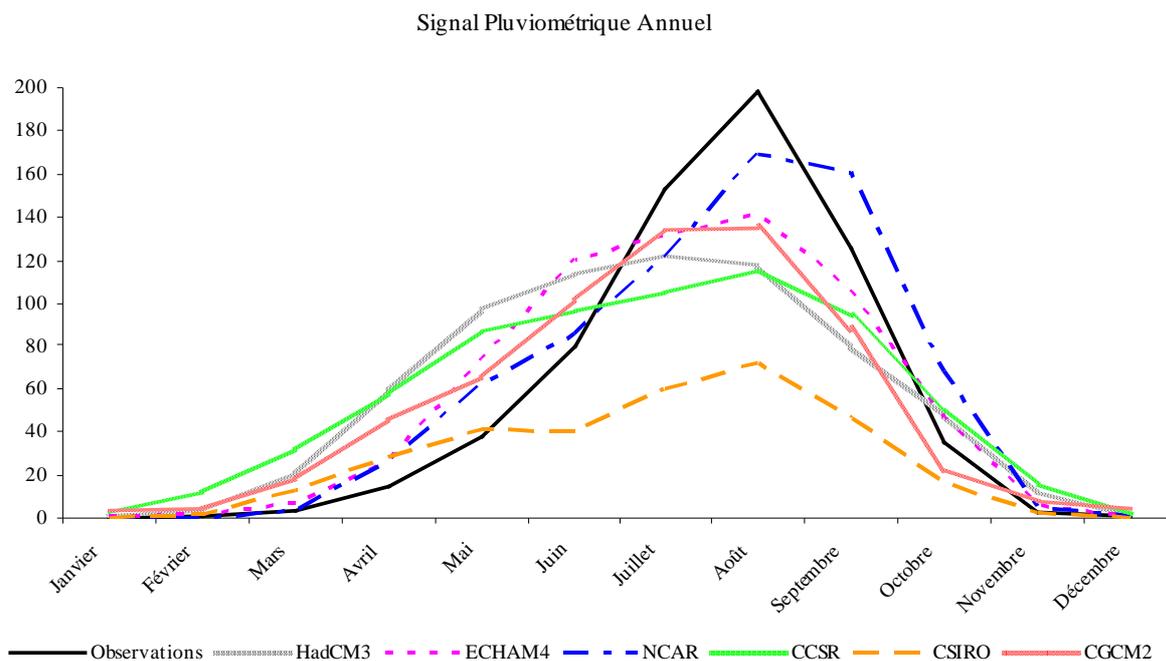
- l'étude de base concernant le programme ;
- les documents préparatoires à la conférence scientifique de Ouagadougou ;
- les Actes de la conférence scientifique et,
- différentes notes de présentation du programme à l'occasion de multiples rencontres du CILSS.

A cette documentation, il convient d'ajouter celle plus technique, disponible au programme SAAGA. Elle concerne les différents appareillages et instruments utilisés en opérationnel dans l'ensemencement des nuages, ainsi que celle élaborée pour l'organisation des opérations elles mêmes.

### **III Faisabilité technique**

#### **III.1 Facteurs météorologiques et climatiques**

Les diverses études climatologiques conduites par les services météorologiques nationaux, ainsi que les Centres AGRHYMET et ACMAD, permettent d'affirmer que le cycle pluviométrique au Sahel est caractérisé par un signal pluviométrique annuel de la saison communément appelée hivernage, la période Juillet-Août-Septembre (JAS) cumulant 80 % environ de la pluviométrie annuelle. Sa reproduction par des modèles climatiques est l'une des tâches principales de la recherche aujourd'hui.



*Figure II.1: signal pluviométrique annuel au Sahel et sa reproduction par des modèles climatiques les plus utilisés*

C'est exclusivement et uniquement en cette saison qu'il sera possible d'effectuer des opérations d'ensemencement des nuages. Il conviendra toutefois de ne pas perdre de vue que les stations pluviométriques de la zone CILSS peuvent être divisées en trois classes regroupant les séries dont les évolutions sont les mieux corrélées et comprenant respectivement les pays continentaux enclavés (Tchad, Niger, Burkina Faso et Mali), les pays à façade maritime (Mauritanie, Sénégal, Gambie et Guinée Bissau) et enfin les Iles du Cap Vert.

La deuxième particularité de la zone en terme de faisabilité des opérations d'ensemencement, est liée à la prédominance des mouvements convectifs privilégiant la formation de nuages à forte extension verticale sporadiques ou organisés. C'est ce qui fait qu'on assiste souvent à la formation de gros nuages (Cumulus, Cumulonimbus,...) générateurs d'averses et de pluies parfois accompagnées de vents forts ; de plus, la zone de convergence intertropicale est une zone de prédilection de naissance d'amas nuageux et de cumulonimbus isolés pouvant évoluer en lignes de grains, seuls systèmes organisés connus dans cette région. Le second facteur important dans la formation des nuages, est le facteur orographique, qui est important en des endroits bien localisés tels que les Sud Air, Nord Mali, Ouest Tibesti.

Un autre facteur, microphysique cette fois-ci, d'importance pour la faisabilité sur le plan technique est le potentiel en eau liquide du nuage. Le potentiel minimum pour entreprendre une opération d'ensemencement des nuages froids est de 0,05 g/m<sup>3</sup>. Les différentes mesures effectuées par le Programme SAAGA depuis 1998 ont montré que l'on rencontrait souvent des teneurs en eau liquide surfondue pouvant atteindre 2 g/m<sup>3</sup>.

En terme de faisabilité on notera que la nature des systèmes pluviogènes rencontrés dans cette zone ainsi que leurs propriétés microphysiques assurent une faisabilité des opérations d'ensemencement sur le plan technique, aussi bien pour les nuages dits "froids" que ceux dits "chauds".

S'agissant de la réalité de l'augmentation des précipitations au sol, il faut relever que d'une manière générale, pour l'ensemencement en « phase glace », les résultats enregistrés de par le monde font état d'une augmentation des précipitations au sol entre 10 et 17 % ; pour l'ensemencement en « phase chaude », les résultats les plus crédibles (et reproductibles!) font état d'une augmentation spatiale des précipitations de 7 %, des augmentations moyennes par cellule allant de 30 à 60 %, et des écoulements (recharge) de 20 à 48 %. Pour la zone sahélienne, l'absence de statistiques significatives ne permet pas pour l'instant de donner des pourcentages d'augmentation, bien que ces augmentations soient constatées qualitativement au cours des diverses opérations du Programme SAAGA.

## **III.2 Organisation institutionnelle, procédures et moyens techniques et humains de mise en œuvre**

### **III.2.1 Organisation institutionnelle**

La mise en place d'une organisation institutionnelle et technique doit avoir pour souci premier de provoquer dans le pays une réelle prise en charge des différents aspects liés à la réalisation à moyen terme de l'objectif d'augmenter les précipitations tout en s'appuyant sur l'expérience des autres pays du CILSS et d'autres pays en développement faisant face à la même problématique de sécurisation de la ressource en eau. Il est important de rappeler que ce domaine de la science est très complexe et que la preuve de l'efficacité d'une méthode dans le contexte de chacun des pays du CILSS doit d'abord être recherchée avant de pouvoir espérer que cette technologie puisse garantir les populations des risques de sécheresse.

L'ensemble des pays du CILSS ayant aujourd'hui opté pour des stratégies de réduction de la pauvreté, il est évident que dans l'intérêt de la majorité des populations rurales de ces pays,

l'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages se doit d'être un des mécanismes de mise en œuvre de ces stratégies. Aussi, dans la perspective d'une harmonisation des structures au niveau sous régional, et compte tenu de l'expérience récente du Burkina Faso à conduire ces opérations dans les normes, l'on peut retenir l'ancrage institutionnel et les structures suivants au niveau de chaque pays membre :

- ✓ Un ancrage du programme à un niveau de décision élevé, tel que les Systèmes Nationaux d'Alerte Précoce ;
- ✓ Un organe de planification et d'orientation définissant les priorités nationales et mobilisant les moyens en vue d'atteindre les objectifs fixés ;
- ✓ Un organe chargé de la coordination des différentes opérations ainsi que de leur évaluation, organe subdivisé en un nombre raisonnable de commissions dans un souci d'efficacité des opérations conduites.

D'une manière générale, le Système CILSS doit assurer un déroulement du programme en conformité avec les recommandations de la communauté internationale dans ce domaine. Au niveau du Secrétariat Exécutif du CILSS, une cellule devrait assurer la liaison avec les partenaires internationaux afin de garantir les moyens indispensables pour la continuité des actions initiées.

### **III.2.2 Procédures opérationnelles**

Les procédures de travail dont dépendent la crédibilité scientifique et l'efficacité des moyens mises à la disposition, écrites, validées et appliquées, constituent l'élément indispensable pour la conduite des opérations d'ensemencement. Ces procédures doivent évoluer en fonction des nouvelles connaissances acquises sans remettre en cause les principes fondamentaux, et particulièrement, les principes de tirage au sort, seuls véritables garants de l'objectivité requise. Le Programme APENS pourra donc dans un premier temps adopter les procédures mises en œuvre déjà par le Programme SAAGA, procédures comprenant les éléments suivants :

- Procédures et planning de travail du groupe des prévisionnistes, avec pour objectifs l'élaboration de deux prévisions météorologiques par jour en soutien aux opérations d'ensemencement ;

- Procédures et planning de travail du groupe Radar élaborées pour la surveillance radar, appuyer le prévisionniste et, la gestion des données radar ;
- Procédures de travail des pilotes pour l'organisation de leur journée de travail, en fonction des situations météorologiques prévalentes ;
- Procédures de traitement à l'intérieur de la zone dite d'évaluation (zone d'efficacité hydrologique du radar de la base d'opération) et, à l'extérieur de cette zone ;
- Procédures relatives aux évaluations des opérations d'ensemencement, évaluations comportant les volets suivants: volet physique, volet environnemental, volet socioculturel et volet économique.

### **III.3 Moyens techniques, logistiques et infrastructures**

Sur la base du diagnostic de l'existant dans chacun des pays du CILSS et, pour la mise en œuvre du programme régional, il a été convenu de disposer de préférence d'un ensemble d'équipements spécialisés suffisamment standardisés entre les différentes composantes nationales. Il est également nécessaire d'harmoniser dans la mesure du possible les équipements dans la perspective d'appui dans la gestion et la maintenance des instruments. Il s'agit des équipements suivants.

#### a) Equipements d'opérations

- Radars ;
- Vecteurs aériens ;
- Vecteurs terrestres;
- Stations météorologiques classiques et automatiques ;
- Stations de radiosondage.

#### b) Equipements de communication

- Radios, BLU, Talkies-walkies;
- Internet, courrier électronique, lignes spécialisées ;
- Système VSAT.

c) Infrastructures

- Immobilier ;
- Equipement roulant.

d) Caractéristiques des équipements de base (avions d'ensemencement et de l'instrumentation de base pour la microphysique des nuages)

- Deux avions bimoteurs par zone d'influence des radars
- Un ou deux Aéronefs sophistiqués pleinement équipés pour les besoins de la recherche.

Les caractéristiques et équipement interne des avions dépendront bien évidemment du type d'ensemencement à conduire.

e) Spécification des équipements au sol

On distinguera ici les équipements de télémétrie et l'instrumentation météorologique terrestre.

S'agissant des équipements de télémétrie, ils comprennent essentiellement :

- les Stations de réception MSG ;
- le Radar météorologique, généralement de longueur d'ondes 5 cm et de portée au moins 150 km, pour des mesures hydrologiques ;
- les générateurs au sol (une fois convaincus de leur efficacité dans cette zone ;
- le logiciel TITAN de suivi des systèmes précipitants ;
- les systèmes informatiques et les UPS.

Enfin, l'instrumentation météorologique terrestre sera elle réduite à :

- des stations de radiosondage en altitude;
- des réseaux de stations météorologiques automatiques ou semi-automatiques ;
- des pluviomètres au sol, répartis sur la base des résultats d'EPSAT-NIGER.

### **III.4 Moyens humains**

En attendant de connaître les résultats des travaux de recherche et les solutions les plus pertinentes pour accroître les rendements de précipitation dans les conditions locales, il est recommandé de démarrer un programme de formation allant jusqu'à une campagne de traitement suivant les principes habituels et ceux découverts en Afrique du Sud et aujourd'hui appliqués de plus en plus souvent aux latitudes où les pluies sont souvent formées à des températures supérieures à -6 °C.

Dans cet objectif, il est proposé de former entre janvier et le début de la période d'hivernage les personnels nécessaires à la réalisation de missions de traitement avec les moyens aériens suffisants. Pour des raisons physiques (portée efficace d'un radar), trois équipes complémentaires doivent être organisées par base d'intervention :

- ✓ Une équipe de prévisionnistes (1 ingénieur et 3 techniciens) pour aider les équipes d'intervention à optimiser leurs sorties. Un lien ADSL pour récupérer les cartes de modèles étrangers de prévision est nécessaire dans un premier temps. Les moyens de radio sondages seront particulièrement utiles lorsqu'un modèle sous régional sera capable de les intégrer. Le récepteur EUMETSAT devra être disponible en temps réel pour suivre l'évolution et l'arrivée des lignes de grain.

En dehors des périodes de travail pour la prévision et l'information aux équipes radar et d'intervention, ces personnels pourront travailler sur la partie climatologie et analyse des données décrites ci-dessus.

- ✓ Une équipe d'assistance Radar (2 ingénieurs et 4 techniciens) surveillera l'évolution des événements de pluie dans un rayon de 200 Km autour de la base d'opération, alertera l'équipe d'intervention, l'accompagnera durant les missions, et préparera les données pour les remettre aux équipes Recherche. Une station radio autonome équipera le centre pour une liaison radio avec les aéronefs de traitement. Un ingénieur radariste capable d'assurer la maintenance radar, des moyens de numérisation et d'analyse des données complètera cette équipe. Il sera secondé d'un technicien ayant de bonnes notions en électronique, radio et informatique (UNIX). En dehors des périodes d'intervention, cette équipe assurera l'analyse des données enregistrées pour la transmettre à l'équipe Recherche avec qui, elle collaborera étroitement.

✓ Une équipe d'intervention avec deux avions capables de voler en sécurité et en confort (climatisation ou au moins ventilation) en dessous du niveau 100 (3000 m) et généralement à la base des nuages, 1000 ft (300 m) à 2000 ft (600 m) au dessous de la base des nuages, de même qu'aux niveaux où la teneur en eau surfondue est importante. Ces deux avions devront être équipés au minimum d'un enregistreur de position de vol (GPS) avec si possible une transmission en temps réel au sol pour suivi de leur position sur l'écran radar. Ils devront être équipés de supports de torches de type sels hygroscopiques et iodure d'argent, et avoir une autonomie suffisante pour traiter au moins 3 cellules (24 à 36 torches et 3 heures de vol). Des avions bi moteur du type Piper Seneca, Aztek, Navajo ou King Air sont suffisants. L'un de ces deux avions pourra être équipé de moyens de mesure aéroportés de type température, hygrométrie, pression,... et l'autre pourra être équipé d'une plateforme composée de capteurs de mesure de noyaux de condensation, de congélation, d'aérosols, etc.

Pour assurer les vols, au moins six pilotes seront entraînés pour ces missions qui visent à trouver des lieux d'ascendance et y rester le plus longtemps possible de manière à alimenter le nuage avec des noyaux de condensation plus gros que la moyenne des noyaux naturels ce qui y augmentera la vitesse de formation de la pluie sous forme liquide.

Les pilotes devront être choisis plutôt parmi ceux qui ont déjà pratiqué le vol à voile ; une formation sur place devra être assurée avec du personnel ayant déjà pratiqué les deux types d'ensemencement. Chaque équipage pourra être complété par un scientifique ou un ingénieur Météo de manière à compléter les informations qui serviront à l'analyse de la situation et à l'évaluation. Ils devront assurer un travail en complète transparence avec les autres équipes et suivront une procédure avec tirage au sort pour éliminer un maximum de biais.

Le traitement aura lieu en priorité sur les zones ou à la périphérie des poches de sécheresse. Les cellules traitées à l'intérieur de la zone de 100 km serviront pour la partie recherche et évaluation.

### **III.5 Description et rôles des composantes régionales et nationales de APENS**

L'idée d'une structure en réseau hiérarchisée à l'exemple du système AGRHYMET avec des composantes nationales fortes, suffisamment autonomes pour conduire les opérations, a déjà été retenue par la Conférence de Ouagadougou de mai 2004.

La mise en œuvre d'un programme d'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages au niveau régional présente un certain nombre d'avantages au plan financier (facilités de mobilisation des ressources, économies d'échelle, etc.), au plan de la gestion des équipements (facilités d'acquisition, harmonisation des maintenances, etc.) et au plan de la conduite des opérations (échanges d'expérience, minimisation des risques, etc.). Elle devra aussi avoir un rôle de coordination dans les aspects suivants :

- Formation : Maintenance des instruments, méthodes appliquées ;
- Développement des méthodologies ;
- Gestion scientifique du programme en collaboration avec l'OMM et d'autres institutions scientifiques compétentes (Universités, laboratoires, centres nationaux de recherche, etc.) ;
- Harmonisation des équipements et moyens d'intervention (par exemple mise en réseau des radars) ;
- Développement des bases de données ;
- Mobilisation des ressources financières ;
- Partage des expériences.

Les composantes nationales quant à elles, seront chargées de l'organisation et de la conduite des opérations dans chaque pays. Cependant, il est important que chaque composante nationale s'inspire des expériences conduites dans d'autres pays, notamment en ce qui concerne la gestion des équipements et la réalisation des applications sectorielles.

### **III.6 Formation et recherche d'accompagnement**

La variabilité naturelle des précipitations sur l'ensemble du pays doit être décrite et présentée. Les relations entre situations synoptiques et formation de poches de sécheresses avec incidence sur les populations doivent être bien comprises. L'hypothèse d'une augmentation des pluies doit se limiter à l'accroissement des pluies lorsqu'il pleut déjà, ce qui renvoie au problème du stockage de ces surplus d'eau, qui, s'ils ne sont pas pris en compte dès le départ, peuvent aboutir à des résultats inverses (asphyxie des semis, inondations, lessivages des sols, ...).

La formation des pluies dans le pays doit être bien comprise et si possible modélisée. Cela passe forcément par une recherche sur les processus de condensation, puis coalescence et collision à l'intérieur des cellules de précipitations qui doivent être observées en continu par radar. Pour comprendre la chaîne (prédominante) de la formation de la pluie il est indispensable de réaliser une campagne de mesure aéroportée d'aérosols et de noyaux de condensation. En attendant que le CILSS soit équipé pour cela, il devrait être possible de faire appel à des équipes scientifiques étrangères durant une période limitée.

Ces mesures aéroportées devront, au moins dans un premier temps, se consacrer à la partie initiation de la vie du nuage, c'est-à-dire à la partie de régénérescence, au niveau du lieu d'alimentation des nouvelles cellules y compris pour les lignes de grain. Les moyens pour mesurer les caractéristiques microphysiques des zones à température négative ne sont pas à écarter dans un premier temps. C'est pourquoi il n'est pas prévu au départ d'installation systématique de sites de générateurs au sol avec iodure d'argent dont l'efficacité n'est pas démontrée dans le contexte du Sahel.

Pour réaliser ce programme, il faut s'appuyer sur un Comité Scientifique à mettre en place, comité qui comprendra en plus des scientifiques des pays membres, des représentants du programme spécialisé de l'OMM dans ce domaine, ainsi que des experts de renommée internationale.

#### **III.6.1. Mise en place d'un enseignement de type DEA, DESS ou MASTER Spécialisé**

La commission spécialisée à la Conférence de Ouagadougou a recommandé :

- le Master spécialisé pour l'intitulé du diplôme ;

- S'agissant du cadre de la formation, inviter les universités possédant un enseignement spécialisé dans ce domaine à se regrouper de façon à obtenir deux pôles de formation qui se partageront les tâches ;
- que le programme de formation soit commun aux deux pôles et que le canevas présenté dans le projet de programme-cadre serve de base de réflexion.

### **III.6.2 . Grandes orientations d'un programme de recherche**

L'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages relevant encore du domaine de la recherche, il est important d'insister sur la nécessité de bien comprendre d'abord les mécanismes de formation des précipitations en zone sahélienne, la dynamique et la microphysique des nuages dans la région ainsi que, les moyens qui permettront d'optimiser les opérations d'ensemencement.

Là aussi, la commission spécialisée de la Conférence de Ouagadougou a recommandé :

- que le canevas présenté dans le projet de programme-cadre serve de base de réflexion ;
- d'ajouter à la liste des axes de recherche du canevas les points suivants ;
- la modélisation fine de l'atmosphère en vue d'améliorer les applications de la PNT au programme APENS ;
- Le développement de la prévision saisonnière à une échelle fine ;  
(Downscaling).

### **III.6.3 Programme de recherche sur le fonctionnement des systèmes hydrologiques**

Dans ce domaine, il y aura lieu :

- de procéder à l'identification des bassins versants représentatifs des zones potentielles d'intervention pour le programme ;
- d'étudier le fonctionnement hydrologique de ces bassins (ruissellement, évaporation, mécanisme et taux de recharge des nappes, humidité des sols, etc.) ;
- de modéliser le fonctionnement de ces bassins.

### **III.6.4 Mise en place d'un réseau de communication**

En matière de stratégie, la commission a retenu les éléments suivants :

- interconnexion des centres nationaux de conduite des opérations ;
- mise en réseau des moyens d'observation et de suivi en temps réel des systèmes précipitants notamment les radars météorologiques ;
  - mise à disposition des données issues des observations en surface et en altitude.

### **III.7 Partenariats techniques (régionaux et internationaux)**

Ce point a également fait l'objet de recommandations à la Conférence de Ouagadougou, recommandations à mettre en œuvre au démarrage du programme régional. Ainsi, il a été retenu que la gestion scientifique du programme requiert l'implication de plusieurs partenaires suivant différents niveaux d'expertise :

- ❖ Institutions spécialisées en météorologie et hydrologie ;
  - Organisation Météorologique Mondiale (OMM);
  - Centre Africain pour les Applications de la Météorologie au Développement (ACMAD) ;
  - L'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne (ASECNA) ;
  - L'Autorité du Bassin du Fleuve Niger (ABN) ;
  - Les Services météorologiques et hydrologiques nationaux.
  
- ❖ Institutions scientifiques
  - Universités nationales et étrangères ;
  - Centres et institutions de recherche dans les pays.

## IV Incidences environnementales potentielles

### IV.1 Gestion de l'augmentation des précipitations

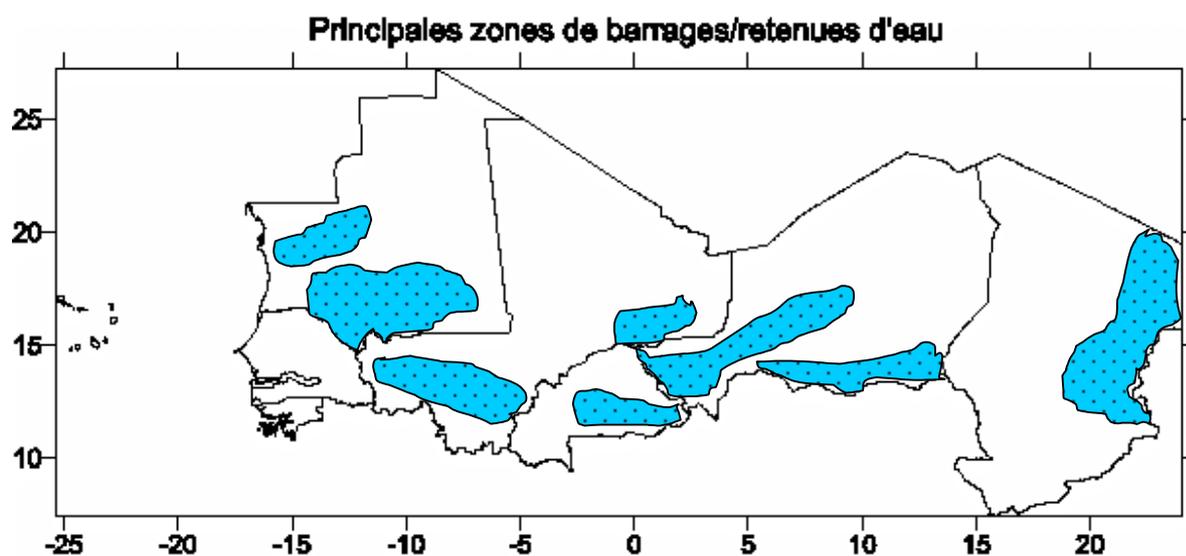
Les principaux barrages existants ou en projet signalés, principalement à vocation hydroélectrique ainsi que pour l'irrigation et l'alimentation en eau du bétail, sont le plus souvent situés sur les principaux cours d'eau.

La plupart des pays membres du CILSS, ont opté pour une politique de construction de mini barrages à des fins aussi bien agricole, pastorale, ainsi que pour l'alimentation des populations en eau, notamment des grandes agglomérations. Les demandes en eau actuelles et futures par habitant signalées sont portées sur le tableau IV.1 ci-dessous. La Figure suivante présentant un aperçu des zones d'implantation des principaux barrages et ouvrages de retenue d'eau.

Tableau IV.1 : Demandes en eau actuelles et futures par pays du CILSS

Pays	Barrages/Sites de stockage	Demande en eau/habitant en 2000/2005	Demande en eau/habitant en 2025/2030
Burkina Faso	<i>Voir carte</i>	334,7 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an (total)	876*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> / an (total)
Cap Vert	<i>Voir carte</i>	2,3 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an (total)	84738 m <sup>3</sup> /j (total)
Gambie	<i>néant</i>	93*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an (total)	186613 m <sup>3</sup> /j (total)
Guinée Bissau	<i>Voir carte</i>	8,7-9,7*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /j (total)	
Mali	<i>Voir carte</i>		
Mauritanie	<i>Voir carte</i>	50 litres/j/hab	
Niger	<i>Voir carte</i>	10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup> /an (total)	
Sénégal	<i>Information manquante</i>	<i>Information manquante</i>	
Tchad	<i>Voir carte</i>	Rural : 16-20 l/j/habitant Urbain : 70-75 l/j/habitant	

Source : document de Programme APENS (2004)



Aperçu sur les zones d'implantation des ouvrages de retenue d'eau (selon les informations communiquées par les pays)

Compte tenu de l'important taux de croissance de la population dans la zone CILSS (>2,5 %), les besoins en eau potable vont forcément augmenter aussi bien pour les populations que pour le bétail. Ceci justifie amplement la politique actuelle des pays membres de construction d'ouvrages de retenue d'eau. Cependant, compte tenu aussi de la forte variabilité climatique de la zone, la garantie de voir ces ouvrages remplis naturellement est de moins en moins probable. C'est pourquoi, l'un des objectifs prioritaires de tout programme d'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages devrait être le remplissage de ces barrages et retenues d'eau. Une stratégie concertée en la matière devra être élaborée par les responsables des ressources en eau des pays membres, à l'adoption du programme régional.

Il y a donc lieu de prendre suffisamment en compte le potentiel réel de modification (+ 10 à + 40 % sur une cellule) ; ce qui doit se traduire par un nombre beaucoup plus important de missions ou de cellules traitées si l'on veut, positivement, changer une situation donnée à l'échelle d'un bassin versant et plus encore à l'échelle du pays.

En effet, si l'on considère par exemple un volume de pluie de 5 millions de m<sup>3</sup> produit par une cellule traitée dont 20 % seraient la conséquence de l'ensemencement, on obtient donc 1 million de m<sup>3</sup> de pluie en plus répartie sur une surface de l'ordre par exemple de 30 km de long et 6 km de large, soit 180 km<sup>2</sup>. Ce million de m<sup>3</sup> supplémentaire correspondrait ainsi à une lame d'eau

équivalente d'environ 5.5 mm sur les lieux de la trajectoire de la cellule, ce qui est à peu près équivalent aux besoins en eau d'une culture pour seulement une journée.

Comme en moyenne, il y a une quarantaine de journées d'interventions avec à chaque fois une à trois cellules traitées efficacement, on voit qu'aujourd'hui un tel programme peut espérer apporter 40 journées x 2 cellules x 1 million de m<sup>3</sup>, ce qui est loin d'être négligeable. On ne retiendra pas dans cette présentation simpliste, mais réaliste, l'hypothèse émise par certains programmes que la pluie engendrée en plus durant le traitement d'une cellule renforce les pluies des cellules filles suivantes. Ainsi, ces 80 millions de m<sup>3</sup> peuvent avoir un impact certain s'ils sont collectés dans des bassins de rétention/barrage.

Pour faire progresser ce chiffre, il n'y a pour l'instant que deux types de solutions :

- ✓ soit concentrer les moyens de traitement sur une zone cible, de manière à obtenir une augmentation des volumes d'eau qui touche des bassins versants équipés de moyens de stockage;
- ✓ soit accroître le nombre de cellules traitées en multipliant ce chiffre par au moins un facteur 10 pour obtenir, en moyenne, au moins 20 mm de pluie supplémentaire. Pour atteindre cet objectif, il faudrait prévoir d'adapter les moyens de traitement sachant que l'on va vite se heurter aux coûts des interventions par avion qui restent, pour l'instant, celles qui ont le plus de chance d'aboutir ; la question de l'efficacité des générateurs au sol restant toujours posée.

Il est donc indispensable de se fixer pour objectif d'augmenter d'au moins 10 % les pluies moyennes reçues sur l'ensemble des zones cible évaluation retenues. A cet effet, les pays retiendront pour la première année d'exécution de leur programme national deux zones cible-évaluation au maximum. Ces zones seront considérées comme telles jusqu'à l'obtention des statistiques permettant une évaluation conforme aux règles internationalement acceptées.

## **IV.2 Dégradations environnementales et pollution**

L'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages peut également causer un effet négatif sur l'environnement à travers la dégradation des terres. De manière générale, les pluies naturelles occasionnent souvent une dégradation des terres, notamment en ce qui concerne l'érosion hydrique. Cet effet pourrait s'accroître avec les pluies résultant de l'ensemencement

des nuages, s'il s'avérait que les diamètres des gouttes dépassaient le seuil critique de 5mm. Toutefois, pour des raisons aérodynamiques liées aussi bien à la croissance des gouttelettes des nuages qu'à celle des gouttes de pluie, il est très peu probable que cela puisse être le cas.

Il faut aussi souligner un effet non négligeable qui est celui de la pollution. Si on prend en compte la production d'électricité dans les pays du CILSS, cette production est en majeure partie d'origine thermique. Elle occasionne alors une pollution importante de l'air avec des gaz tels le dioxyde de carbone ou encore le monoxyde de carbone et encore d'autres gaz. Avec l'ensemencement on pourrait grâce à un plus grand volume d'eau disponible développer la production hydroélectrique très faible dans la région. Au Burkina Faso, avec l'action du programme « SAAGA », les investigations ont permis de montrer que pour un volume d'eau supplémentaire de 10 % au niveau d'une retenue d'eau (barrage de Bagré) on a enregistré une croissance de la production hydroélectrique également d'environ 10 %. Ainsi, grâce à l'ensemencement des nuages, on pourrait développer la production hydroélectrique qui non seulement a un caractère propre (non polluant) mais également un coût moindre que celle d'origine thermique. Elle pourrait donc se substituer à la production thermique avec un gain important en matière économique et environnementale. Elle améliorerait la Balance commerciale des pays.

### **IV.3 Conséquences sanitaires;**

L'une des caractéristiques épidémiologiques la plus importante de la zone sahélienne est de faire partie de la « ceinture méningococcique » définie par Lapeyssonie.

L'on sait que les épidémies de méningite cérébro-spinales débutent en saison sèche et prennent fin immédiatement avec les premières pluies. Il a également été montré récemment que ces épidémies étaient associées à des situations de fortes humidités relatives combinées à de fortes concentrations de poussières atmosphériques et de fortes températures de l'air sous abri en mars, avril et début mai. Il s'ensuit donc que, toute averse précoce en cette période peut inhiber ces épidémies. C'est ainsi qu'on relève dans la littérature qu'une pluie de 3mm, pendant la période incriminée, peut faire tomber de 50 % les cas de méningites cérébro-spinales. Il résulte donc qu'un déclenchement des précipitations suite à des opérations d'ensemencement des nuages dans cette zone et en cette période, représente un moyen de lutte considérable contre les épidémies de méningite. C'est du reste ce qui s'est produit pendant l'épidémie de méningite de 1969 au Mali.

D'un autre côté, le paludisme sévit également de façon endémique dans cette zone. Les cas d'attaque de cette maladie sont particulièrement fréquents en saison des pluies. Il est à craindre que pour ce cas, une augmentation des précipitations par ensemencement des nuages, non suivie de mesures d'hygiène et sanitaires adéquates, puisse négativement influencer sur cette maladie.

#### **IV.4 Lutte contre la désertification et gestion des ressources naturelles**

L'incidence de l'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages sur l'environnement peut révéler des effets positifs pour la lutte contre la désertification en zone sahélienne, car pouvant permettre de régénérer le couvert végétal.

S'agissant du couvert végétal, il a été montré d'une part, qu'une relation directe existe entre la pluviométrie annuelle et son extension septentrionale, et d'autre part, que des simulations numériques conduisent à penser que la création de bandes de végétation de 100 à 150 km de large permettrait d'augmenter significativement les pluies convectives, chaque fois que la situation météorologique s'y prête. En plus, des saisons de pluies plus longues et avec une bonne répartition spatiale permettront sans nul doute de restaurer une biodiversité plus riche.

### **V. Faisabilité économique**

#### **V.1 Analyse économique du programme :**

L'étude de faisabilité économique comprend trois grands points que sont les coûts, la rentabilité économique et l'impact socio-économique.

##### **V.1.1 Les coûts du programme**

Compte tenu de la nature du programme (caractère régional) et des activités (ensemencement des nuages), le coût d'un tel projet est considérable.

Selon l'étude déjà réalisée en 2003, le programme régional APENS avait été évalué pour une durée de cinq ans, à plus de cinquante deux milliards de francs CFA. Il comprenait entre autre la mise en place d'une coordination régionale et de neuf coordinations nationales pour chacun des pays membres du CILSS. Ce coût estimatif incorporait également celui des équipements et d'un programme de Master spécialisé en physique des nuages et une composante recherche-action.

Pour avoir une meilleure estimation, nous allons actualiser les coûts de ces différentes rubriques par un taux de 10 % pour tenir compte de l'inflation.

De plus, aux différentes rubriques déjà élaborées, on peut ajouter une rubrique intitulée : Evaluation de la rentabilité économique annuelle et ce, de la 2<sup>ème</sup> à la 5<sup>ème</sup> années. Cela se justifie car, après les opérations annuelles menées, il est nécessaire d'apprécier l'incidence sur les rendements agricoles de l'année en cours ou encore l'évolution des besoins en eau. Cela constituera à chaque fois un bilan intermédiaire qui permet d'ajuster les actions menées d'une année à une autre.

Ainsi, on peut présenter un tableau récapitulatif des coûts comme suit :

<b>Rubriques</b>	<b>1<sup>ère</sup> année</b>	<b>2<sup>iè</sup> année</b>	<b>3<sup>iè</sup> année</b>	<b>4<sup>iè</sup> année</b>	<b>5<sup>iè</sup> année</b>
Infrastructure, logistique et fonctionnement De la composante régionale	385	330	330	330	330
Elaboration par la coordination régionale des Programmes du Master spécialisé en physique Et chimie des nuages	11	-	-	-	-
Elaboration par la coordination régionale De méthodologie d'évaluation	-	110	-	-	-
Frais de fonctionnement des composantes nationales	-	110	110	110	110
Elaboration et mise en œuvre des programmes Des programmes de formation/action	-	440	220	220	110
Signature des protocoles d'entente scientifique avec des partenaires scientifiques pour la mise en œuvre du programme	-	11	11	11	6
Dotation en équipement d'opérations, de mesure et de traitement des composantes nationales		11500	11500	11500	11500
Mise en œuvre du Master spécialisé	-	168.5	168.5	168.5	168.5
Mise en place et gestion de données nationales	-	104	29.7	29.7	29.7
Mise en place d'un système régional de base de données ; Mise en réseau des radars ; outils et stratégies de communication pour le programme ; Evaluation régionale du programme.	11	110	440	440	99
Elaboration et mise en œuvre des programmes de recherche et développement	-	110	110	110	110
Rencontre nationale de concertation sur le programme	-	11	11	11	11
Organisation par la composante Régionale d'ateliers régionaux sur le programme	-	44	44	44	44
<i>Evaluation de la rentabilité économique annuelle du programme par composante nationale</i>	-	20	20	20	20
<b>Totaux annuels</b>	407	13068,5	12994,2	12994,2	12538,2
<b>Budget des activités</b>	<b>52002,1</b>				
<b>Frais de gestion OMM</b>	<b>5693,503</b>				
<b>Budget total</b>	<b>57695,603</b>				

NB : Les chiffres sont exprimés en millions de francs CFA

### V.1.2 Rentabilité économique du programme

Les pays membres du CILSS sont des pays qui ont leur économie essentiellement basée sur l'agriculture, l'élevage et dans une moindre mesure la pêche et la chasse.

La rentabilité économique de l'ensemencement peut donc être appréciée sur ces secteurs auxquels on doit ajouter celui de l'approvisionnement en eau.

- Pour ce qui concerne l'agriculture, on peut prendre le cas de la principale culture de rente qui est celle du coton. En effet, elle est pratiquée par tous les pays du CILSS et génère des revenus non négligeables.

Pour avoir un bon rendement dans la culture du coton (il en est de même pour l'arachide) il est nécessaire que les pluies soient bien réparties dans le temps. Il faut que la saison des pluies s'installe tôt (début juin) et se prolonge jusqu'en octobre, soit environ cinq (5) mois de pluies régulières.

En saison de pluviométrie moyenne, le rendement est évalué à environ 400kg/ha, mais en situation de bonne pluviométrie ce rendement peut aller jusqu'à 800Kg/ha. En faisant les hypothèses que l'engrais est convenablement appliqué aux surfaces cultivées et que le prix net par Kg sur le marché international est  $P_n = 400$  francs CFA. On peut avoir l'estimation suivante :

<b>Culture de coton</b>	<b>1<sup>ère</sup> année</b>	<b>2<sup>ie</sup> année</b>	<b>3<sup>ie</sup> année</b>	<b>4<sup>ie</sup> année</b>	<b>5<sup>ie</sup> année</b>
Rendement en Kg/ha	400	500	600	700	800
Gain annuel en terme de rendement en Kg/ha	-	100	100	100	100
Gain cumulé en terme de rendement en Kg/ha	-	100	200	300	400
Flux financier supplémentaire (en millions de fcfa) pour une superficie de 50000ha	-	2000	4000	6000	8000
Flux financier supplémentaire (en millions de fcfa) pour une superficie de 75000ha	-	3000	6000	9000	12000
Flux financier supplémentaire (en millions de fcfa) pour une superficie de 100000ha	-	4000	8000	12000	16000

NB : Flux financier supplémentaire = Prix net \* (Gain cumulé de rendement \* superficie)  
 Prix net =  $P_n = (\text{Prix de vente} - \text{prix des intrants} - \text{diverses charges})$

Les estimations de superficies concernent le cumul de l'aire consacrée à la culture de coton dans la zone du CILSS ; par conséquent, les flux financiers apportés par de meilleurs rendements sont des flux à répartir entre les Etats du CILSS proportionnellement aux superficies de chaque Etat.

A base de ces estimations on voit qu'il est possible qu'au bout de cinq (5) années d'activités du programme, pour une superficie totale de 100.000ha, la zone CILSS peut enregistrer un flux financier supplémentaire de 16 milliards soit environ 28 % du coût estimatif du programme pour la seule culture du coton.

Sur la base de ces hypothèses, il est possible qu'avec les autres cultures de rentes (arachide, niébé) on puisse obtenir des flux financiers supplémentaires pour les seules cultures de rente qui atteindront environ 40 % du coût du programme.

Si on prend comme exemple de culture vivrière, la culture du riz qui s'est beaucoup développée dans les vallées. Le rendement de la culture du riz par irrigation est tributaire de réserve en eau

importante dans les retenues d'eau. Si on fait l'hypothèse que l'intervention du programme apporte un supplément en eau de 10 % au niveau des retenues d'eau et qui profite peut être à 5 % à l'irrigation ; avec un rendement au départ de 4t/ha et un prix évalué à environ 150000frs CFA/t, on pourrait avoir la situation suivante :

<b>Culture du riz par irrigation</b>	<b>1<sup>ère</sup> année</b>	<b>2<sup>iè</sup> année</b>	<b>3<sup>iè</sup> année</b>	<b>4<sup>iè</sup> année</b>	<b>5<sup>iè</sup> année</b>
Rendement en tonnes par ha	4	4.20	4.41	4.63	4.86
Gain annuel en terme de rendement en t/ha	-	0.20	0.21	0.22	0.23
Gain cumulé en terme de rendement en t/ha	-	0.20	0.41	0.63	0.86
Flux financier supplémentaire (en millions de FCFA) pour une superficie de 250000ha	-	7500	15375	23625	3225
Flux financier supplémentaire (en millions de FCFA) pour une superficie de 300000ha	-	9000	18450	28350	38700
Flux financier supplémentaire (en millions de FCFA) pour une superficie de 350000ha	-	10500	21525	33075	45150

**NB :** Flux financier supplémentaire = Prix net \* (Gain cumulé de rendement \* superficie)

Cette analyse nous montre qu'au bout de 5 années pour une superficie de 350000ha, les flux financiers que l'ensemble des Etats du CILSS pourraient économiser dans l'importation du riz, s'élèvent à plus de 45 milliards FCFA soit environ 78 % du coût du programme. En terme socioéconomique, on peut dire que cet avantage peut conduire à assurer la sécurité alimentaire aux populations qui sont dans des zones vulnérables. En effet, avec un rendement qui croit régulièrement d'un taux moyen de 5 % et si les superficies exploitées sont agrandies, on pourrait atteindre à moyen terme une autosuffisance alimentaire pour les populations concernées.

En prenant de manière générale le cas des cultures céréalières, on a enregistré en 2003 pour l'ensemble des pays du CILSS, une production brute évaluée à 11.45 millions de tonnes. La production nette fut de 9.373 millions de tonnes pour cette année contre 9.447 millions en 2002 soit une baisse de 1 %. Par contre, entre 1997 et 2003 on a enregistré un taux de croissance moyen de la production céréalière qui atteignait 6% pour l'ensemble de la zone. En 2003, la production permettait au total de couvrir les besoins de l'ensemble des pays membres, mais elle est en réalité très hétérogène car seule le Burkina Faso et le Niger ont pu dégager un excédent céréalier. Le déficit au niveau des sept (7) autres pays est essentiellement dû à la sécheresse.

Présentons la situation ainsi observée dans le tableau suivant :

<b>Pays</b>	<b>Production brute en tonne (2003)</b>	<b>Excédent ou Déficit net en tonne (2003)</b>
Burkina Faso	3 119 000	547 200
Cap-Vert	5 100	-46 000
Gambie	138 900	-23 400
Guinée Bissau	151 500	-39 400
Mali	2 518 200	-4 000
Mauritanie	116 300	-125 800
Niger	3 338 200	389 600
Sénégal	851 300	-163 900
Tchad	1 212 400	-193 300
<b>CILSS</b>	<b>11 450 900</b>	<b>341000</b>

**Source : rencontre régionale organisée par le CILSS – Dakar  
du 10 au 12 mars 2003**

L'analyse de ce tableau permet de dire qu'au Burkina Faso et au Niger, la situation globale est satisfaisante mais des poches de déficits existent. Les excédents dégagés peuvent permettre d'intervenir dans les pays sahéliens déficitaires à travers des actions triangulaires. L'excédent dégagé par le Burkina permet à lui seul d'éponger plus de 90 % du déficit ; et cette situation peut trouver son explication dans l'activité d'ensemencement qui existe dans ce pays depuis quelques années. En outre, en faisant l'hypothèse que dans les différents pays déficitaires, l'ensemencement des nuages permet de pallier au déficit pluviométrique, et que cela procure un accroissement annuel de 6 % (taux escompté en cas de bonne pluviométrie) de la production céréalière avec un taux de croissance annuel des besoins de 3 %. Ceci nous conduit à escompter un accroissement annuel net de production céréalière de  $(6\% - 3\%) = 3\%$ . Alors, on aura pour chacun des pays déficitaires un accroissement annuel moyen de  $[(1+0.03)^4 - 1] = 12.55\%$  pour 4 années effectives d'opérations d'ensemencement.

De manière générale, la FAO estime que pour les besoins de sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne, il faut accroître la production vivrière de 1,8 % par an et mettre en culture 50 millions

d'hectares. Non seulement l'ensemencement permettra de dépasser un tel taux, mais également d'accroître les surfaces cultivables au niveau du Sahel.

- Le secteur de l'élevage est après l'agriculture, le plus important pour la plupart des pays du CILSS. Il intervient dans le PIB des économies de la zone et rencontre d'énormes difficultés liées à la pénurie d'eau. Le type d'élevage le plus pratiqué est l'élevage extensif qu'on localise surtout dans les zones où la pluviométrie n'excède pas 300mm d'eau par an. Le cheptel est très sensible aux chocs causés par la variation inter annuelle de la pluviométrie, se matérialisant par un déficit fourrager important et un tarissement des points d'eau. L'augmentation des précipitations par ensemencement peut conduire à réduire la perte de bétail due au manque d'eau et à disposer de plus grandes zones de pâturage. Les Etats de la zone CILSS enregistrent en moyenne un flux de capital de 110 milliards de francs CFA pour les dix dernières années et un taux moyen annuel d'accroissement de ce chiffre d'affaires de 2.8 % qui est supérieur au taux de croissance démographique. Ce taux pourrait être amélioré car il existe un déséquilibre entre le cheptel et les ressources disponibles. En effet, la capacité de charge maximale est évaluée à 8 bovins/km<sup>2</sup> de pâturage au Nord (Sahel) alors qu'elle peut aller jusqu'à 20 bovins/km<sup>2</sup> de pâturage plus au sud. Cette situation explique les mouvements de migration des éleveurs et de leur bétail vers le Sud à la recherche de zones favorables. Ces migrations incontrôlées accentuent la dégradation de l'environnement.

De 1977 à 2002, sur une partie de la zone CILSS, on a enregistré une réduction du couvert végétal de 59000ha/an associée à une baisse de la pluviométrie de 35 %. Cela permet d'établir que pour une baisse de la pluviométrie de 10 %, on accusera une réduction du couvert végétal de 16857ha/an, soit une perte de pâturage équivalente pour le bétail. Donc, si nous escomptons une amélioration de la pluviométrie de 10 %, grâce à l'ensemencement, on pourrait attendre un gain en pâturage de 16857hectares par an soit 67428 hectares pour quatre (4) années d'opérations d'ensemencement et par pays.

<b>Elevage</b>	<b>Année 1</b>	<b>Année 2</b>	<b>Année 3</b>	<b>Année 4</b>	<b>Année 5</b>
Amélioration de La pluviométrie	-	10 %	10 %	10 %	10 %
Pâturage supplémentaire En km <sup>2</sup>	-	168,57	168,57	168,57	168,57
Capacité de charge (normale) Maximale en bovins/km <sup>2</sup>	-	8	8	8	8
Bétail supplémentaire (pâturage supplémentaire *capacité de charge max)	-	1349	1349	1349	1349
Flux financier supplémentaire attendu (en million) pour un coût unitaire de 150000Fcfa	-	202,35	202,35	202,35	202,35
<b>Total du flux financier supplémentaire attendu en Fcfa</b>	-	<b>809,4</b>			

Ainsi, chaque pays peut enregistrer en moyenne un flux financier supplémentaire de 809,4 millions de francs CFA imputable à une plus grande disponibilité d'aire de pâturage et ce, grâce à l'action de l'ensemencement soit pour la zone, une estimation de  $(809,4 * 9) = 7,2846$  milliards de francs CFA

- Un autre secteur important est celui de la disponibilité de ressources en eau suffisantes, particulièrement pour les populations. En effet, la majeure partie des pays du CILSS rencontre d'énormes difficultés dans l'approvisionnement en eau et ce, à cause des sécheresses répétitives. C'est pourquoi, l'approvisionnement des retenues d'eau grâce à l'ensemencement pourrait constituer un palliatif.

Selon les estimations faites par l'étude réalisée en 2003 pour le programme régional APENS, on a la situation suivante pour certains pays (dont les données disponibles) de la zone CILSS :

<b>Pays</b>	<b>Demande globale en eau en 2000/2005</b>	<b>Demande globale en eau en 2025/2030</b>	<b>Accroissement absolu de la demande en eau</b>
Burkina Faso	334,7 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an (total)	876 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an (total)	541,4 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an
Cap Vert	2,3 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an (total)	84738 m <sup>3</sup> /j (total)	28,63 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an
Gambie	9,3 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an (total)	186613 m <sup>3</sup> /j (total)	58,82 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an

Source : document de programme APENS (2004)

Si on fait l'hypothèse que l'ensemencement permet d'accroître le niveau des retenues de 5 % chaque année. Alors, pour une retenue d'eau contenant en moyenne par an 1 milliard de mètres cubes, on peut espérer chaque année un volume supplémentaire de  $(1 \cdot 10^9) \cdot 0,05 = 5 \cdot 10^7$  soit 50 millions de mètres cubes d'eau supplémentaire. Ainsi, en une seule année d'ensemencement pour le Cap Vert, l'accroissement absolu de la demande prévu en 25 ans (28,63 millions) peut être comblé. En une saison, l'action de l'ensemencement en Gambie permettra de répondre à 85 % (50 millions/58,82 millions) de l'accroissement absolu prévu en 25 ans. Pour le Burkina Faso, il faudrait 11 années (50 millions \* 11/541,4 millions) pour répondre à l'accroissement absolu de la demande en eau prévu en 25 ans.

Cette estimation nous montre que l'ensemencement peut permettre de répondre à la demande en eau pour les populations et ce, en un délai de temps assez réduit. Cette activité peut constituer une alternative très intéressante pour les pays du Sahel.

Au-delà des secteurs mentionnés précédemment, d'autres tels que la pêche, la chasse et l'approvisionnement en bois de chauffe seront sensibles à une amélioration de la pluviométrie. De plus grandes ressources en eau peuvent contribuer à accroître les réserves de poisson, et grâce à un effort de pêche supplémentaire, ce secteur pourrait donc améliorer son chiffre d'affaires. Quant à la chasse, la restauration du couvert végétal et par conséquent de la faune sauvage permettra d'accroître le potentiel de chasse, ce qui peut générer des revenus supplémentaires. Tous les pays actuels du CILSS connaissent des difficultés d'approvisionnements en bois de chauffe au niveau des villes, la régénérescence forestière peut améliorer cet approvisionnement et réduire les coûts d'exploitation.

Signalons enfin pour compléter ce tableau, que cet aspect peut tout aussi bien être traité sur la base de ce qui est déjà connu de par le monde sur les impacts vérifiés des ensemencements des nuages. A ce sujet, il est bien évident que, tant que les questions sur l'efficacité des méthodes utilisées (sels hygroscopiques, iodure d'argent par avion, iodure d'argent avec les générateurs au sol) ne seront pas résolues, il sera difficile d'aborder ce problème, sauf à estimer des taux d'augmentation. Si l'on se réfère à la bibliographie, on trouve des pourcentages qui varient de + 5 à + 20 % avec, d'après les très récents résultats de modèles, jusqu'à + 300 %, notamment dans les situations contaminées par des aérosols très actifs en tant que CCN (noyau de condensation de nuage), mais très petits et de taille homogène. Il faudrait donc anticiper sur cette question, par exemple en mettant en rapport le coût total du programme local et les pourcentages de pluie produits ou supposés tel.

On a relevé précédemment que les 40 journées moyennes d'intervention pouvaient être à l'origine de 80 000 000 de m<sup>3</sup> en plus. Un simple rapport entre le coût total du programme et ces 80 millions de m<sup>3</sup> pourrait fournir, dans un premier temps, un guide pour indiquer le coût du m<sup>3</sup> de la pluie augmentée par ensemencement des nuages, à comparer aux autres solutions, si elles sont possibles, comme le pompage profond ou bien le transfert d'eau depuis une zone où elle serait plus abondante.

### **V.1.3 Impact socio-économique**

D'une manière générale, une étude socio-économique des opérations d'ensemencement se fait généralement à la carte, c'est-à-dire en s'appuyant sur des poches de sécheresse traitées. C'est donc une étude à posteriori, dont les principales difficultés résident dans la disponibilité des données statistiques adéquates. Cette approche possède également une contrainte consistant à connaître la probabilité d'avoir une augmentation réelle et quantifiable des précipitations à l'issue des opérations. Il faut aussi connaître le coût de l'opération (matériel comme mobilisation humaine), connaître les impacts sur les hommes, à travers les récoltes et sur les animaux, à travers les fourrages produits et les points d'eau créés, ainsi que sur l'industrie à travers l'augmentation de la production électrique provenant d'un barrage rempli grâce aux ensemencements. Enfin, et pour être objectif, il convient aussi de ne pas occulter des éventuels aspects négatifs, principalement sur l'environnement, en termes de dommages écologiques (érosion, inondations, etc.).

L'impact socio économique de l'ensemencement des nuages n'est pas négligeable. Il touche les rapports sociaux qui existent au sein des sociétés et qui ont une incidence sur la vie économique des populations. On aura ainsi :

- les relations conflictuelles entre agriculteurs et éleveurs qui dans le Sahel constituent un problème social assez important. En effet, l'élevage étant de type extensif, les éleveurs effectuent de grands déplacements sans cesse à la recherche de pâturages pour le bétail. Ces mouvements occasionnent des dégâts au niveau des cultures qui réduisent le volume des récoltes et créent un climat de tension avec les agriculteurs. De plus, la rareté de l'eau entraîne souvent des tensions entre ces deux groupes car chacun revendique le droit à l'utilisation de la ressource à sa guise, ce qui cause un problème de gestion de la ressource qui est rare. Mais, grâce à l'ensemencement des nuages qui permettra d'accroître les ressources en eau, ces rapports sociaux nécessaires au bon développement du secteur agropastoral pourront être améliorés de manière sensible ;

- l'augmentation des précipitations par ensemencement des nuages peut permettre de régénérer le couvert végétal du Sahel. En effet, des saisons de pluies plus longues et avec une bonne répartition spatiale permettront de restaurer une biodiversité plus riche. Cette situation entraînera un développement de la faune animale et aquatique. Ainsi, le reboisement, la chasse, la pêche pourraient connaître un essor important. De plus, cela contribue à lutter contre la désertification qui elle-même, provoque le ralentissement de l'activité pluviométrique (restauration du couvert végétal et disponibilité de ressources naturelles plus importantes : bois, pêche faune sauvage) ;
- l'ensemencement des nuages peut jouer un rôle très important dans la réduction de la pauvreté, particulièrement en zone sahélienne. A travers l'accroissement de la sécurité alimentaire au niveau des populations grâce à de meilleurs rendements agricoles et un élevage plus rémunérateur, le niveau de vie des populations concernées connaîtra certainement une amélioration. En outre, la chasse et la pêche contribuent au renforcement de la sécurité alimentaire ; le développement de ces activités grâce à de meilleures ressources en eau ne peut qu'améliorer le niveau de vie des populations. Notons enfin que, le développement de la chasse peut accroître le tourisme et améliorer les revenus des populations riveraines, voire augmenter les rentrées fiscales de l'Etat.

Tous ces impacts socioéconomiques attendus de l'ensemencement des nuages sont très importants pour apprécier l'efficacité d'une telle pratique.

En conclusion, on peut dire que l'analyse de la faisabilité économique et financière du programme régional APENS montre un avantage net qui est positif du point de vue économique et en terme financier même s'il n'est pas certain de récupérer l'intégralité des coûts investis au bout de la période, il ressort que les pertes seraient moindres.

En somme, la mise en place de ce projet serait salubre pour les populations du Sahel et contribuerait sans doute au développement économique des Etats du CILSS.

## **V.2 Estimation du coût de faisabilité type du programme pour un pays membre du CILSS**

Sur la base de l'expérience du Programme SAAGA, l'établissement d'une estimation financière repose sur un certain nombre d'hypothèses, au nombre desquelles :

- ✓ la suppression des éléments qui ne sont pas indispensables puisque par exemple, au moins durant la toute première campagne d'ensemencement nationale, l'avion sera le vecteur privilégié ;
- ✓ les pays auront accès au réseau Internet ce qui évitera d'avoir à multiplier des sondages aérologiques particulièrement coûteux ;
- ✓ l'avion sera équipé des moyens de mesure adaptés pour faire un sondage de basses couches jusqu'au dessus de la mousson ce qui sera largement suffisant si en même temps l'accès aux images EUMETSAT est garanti ;
- ✓ s'agissant des investissements avion, il est toujours possible de trouver des avions d'occasion moins coûteux, mais également anciens et où il faudra donc une maintenance plus coûteuse ;
- ✓ pour le radar, on peut faire l'hypothèse qu'il peut être automatisé après l'avoir calibré et remis en ordre, lorsqu'il existe déjà comme c'est le cas au Niger (2 radars), au Mali (1 radar) et au Sénégal (2 radars) ;
- ✓ en ne prévoyant pas de ligne embauche de pilotes ou de chercheurs, ce qui peut être inclus dans les différentes lignes des travaux de formation, opérations et recherche que l'on trouvera dans les différents volets.

Cette estimation des coûts tient compte également du fait qu'il faut s'assurer que les coûts et les délais sont acceptables pour l'organisation pratique des opérations, ainsi que l'estimation du temps que prendra la mise en œuvre effective du programme au niveau national.

C'est dans cette optique que les rubriques suivantes ont fait l'objet d'une estimation financière en dollars US. Ces rubriques sont:

- l'investissement, constitué d'avions et de leur équipement, des radars et équipement météo, équipements informatiques, pour l'essentiel ;
- le volet opération constitué des divers approvisionnements en produits d'ensemencement, des formations, et consultations scientifiques et techniques ;

- le volet recherche, destinée principalement à l'amélioration et optimisation des opérations d'ensemencement et ;
- le budget de fonctionnement et investissements complémentaires.

Les tableaux joints en Annexe présentent les estimations financières de ces différentes rubriques ainsi que leur synthèse.

## **VI. Faisabilité financière**

### **VI.1 Analyse financière**

On peut effectuer une analyse financière du programme régional à partir d'un tableau d'exploitation prévisionnel. Ce tableau va incorporer par année les estimations du coût du programme, les flux financiers attendus par secteur, les marges brutes.

En outre, posons les hypothèses suivantes :

- le développement de la chasse et de la pêche procure un flux supplémentaire annuel de cinq (5) milliards de FCFA ;

- la perte de biomasse due à l'érosion, la baisse les rendements agricoles de 3 % par an. Donc pour un rendement moyen annuel de coton de 600 kg/ha, ce rendement va baisser à  $(600 \times 0,97) = 582$  kg/ha soit une moyenne absolue de 18 kg/ha et donc de  $(18 \times 4) = 72$  kg/ha pour quatre (4) ans. Cette baisse équivaut alors pour une aire de 100000ha cultivée à une baisse de la récolte de 7200000 kg soit une perte de flux financier net de  $(400 \times 7200000) = 2,88$  milliards de francs CFA pour les quatre années ;

- de même pour un rendement moyen annuel de riz irrigué de 4.5t/ha sur la période considérée, la baisse va donner un rendement de  $(4,5 \times 0,97) = 4.35$ t/ha soit une baisse moyenne absolue de 0,135 t/ha équivalente à  $(0,135 \times 4) = 0,54$  t/ha pour 4 ans. Ainsi, pour une superficie irriguée de 350000 ha, cela revient à une baisse de la récolte de  $(0,54 \times 350000) = 189000$  tonnes de riz. Cette quantité de riz perdue correspond à une perte de flux financier de  $(150000 \times 189000) = 28,35$  milliards de francs CFA pour les quatre années.

Tout cela conduit à estimer une perte pour l'ensemble (coton et culture du riz par irrigation) de 31,23 milliards de francs CFA réparties sur les quatre années.

On peut ainsi synthétiser sous forme de tableau ces différents éléments.

	<b>Rubriques</b>	<b>Année1</b>	<b>Année2</b>	<b>Année3</b>	<b>Année4</b>	<b>Année5</b>	<b>Total</b>
A	Investissements	1545,7	14207,2	14132,9	14132,9	13676,903	57695,603
B	Culture du coton : flux financier supplémentaire pour une superficie de 100000ha	0	4000	4000	4000	4000	16000
C	Culture du riz par irrigation : flux financier supplémentaire pour une superficie de 350000ha	0	10500	11025	11550	12075	45150
D	Elevage : estimation de flux financier supplémentaires	0	1821.15	1821.15	1821.15	1821.15	7284,6
E	Flux financiers supplémentaires dus au développement de la pêche et de la chasse	0	5000	5000	5000	5000	20000
F	Perte due à l'érosion engendrée par l'ensemencement	0	7807,5	7807,5	7807,5	7807,5	31230
<b>G</b>	<b>Marge Brute</b>	<b>-1545,7</b>	<b>-693,55</b>	<b>-94,25</b>	<b>430,75</b>	<b>1411,747</b>	<b>-491,003</b>
<b>H</b>	<b>Marge Brute cumulée</b>	<b>-1545,7</b>	<b>-2239,25</b>	<b>-2333,5</b>	<b>-1902,75</b>	<b>-491,003</b>	

Marge brute G = (B + C + D + E) – (A + F)

**NB** : Cette marge brute peut être considérée comme déjà actualisée compte tenu du fait que les montants des différentes rubriques ont été estimés en tenant compte de l'actualisation.

Le commentaire que l'on peut faire de ce tableau d'exploitation prévisionnel est que les premières années, le programme enregistrera des marges brutes négatives qui décroîtront progressivement jusqu'à la 3<sup>ème</sup> année. A partir de la 4<sup>ème</sup> année, on enregistre des marges brutes positives. Cette situation nous montre à base des marges brutes cumulées qu'au bout des cinq (5) années en termes de flux financiers on ne pourra pas récupérer intégralement les capitaux investis. Mais, le projet devant se poursuivre, le tableau nous laisse entrevoir que la marge brute cumulative sera positive dès la 6<sup>ème</sup> année, de ce fait, on pourra récupérer les sommes investies.

De plus, il faut noter que ce tableau prévisionnel n'a pas pris en compte :

- les avantages sociaux (en termes financiers) que le programme pourrait générer ainsi que l'impact d'autres activités non moins importantes ;
- le renforcement des capacités dans les domaines scientifiques et techniques ainsi que la production de nouvelles connaissances.

Si l'on devait ajouter ces éléments, on pourrait s'attendre à pouvoir récupérer l'intégralité des coûts investis sur la période expérimentale du programme qui est de 5 ans. Par ailleurs, il faut se rappeler que les techniques iront en s'améliorant ; de ce fait, les rendements pluviométriques pourront être plus élevés.

## VI.2 Plan de financement

### VI.2.1 Contributions des Etats membres et des programmes internationaux

Activités	1 <sup>ère</sup> année	2 <sup>ème</sup> année	3 <sup>ème</sup> année	4 <sup>ème</sup> année	5 <sup>ème</sup> année
Infrastructure, logistique et fonctionnement De la composante régionale ( <b>budget régional</b> )	0	0	0	0	0
Elaboration par la coordination régionale des Programmes du Master spécialisé en physique Et chimie des nuages ( <b>budget régional</b> )	0	0	0	0	0
Elaboration par la coordination régionale De méthodologie d'évaluation ( <b>budget régional</b> )	0	0	0	0	0
Frais de fonctionnement des composantes nationales ( <b>Etats membres</b> )	0	80	80	80	80
Elaboration et mise en œuvre des programmes de formation/action ( <b>CILSS et Etats membres</b> )	0	100	100	100	55
Signature des protocoles d'entente scientifique avec des partenaires scientifiques pour la mise en œuvre du programme	0	4	4	4	2
Dotation en équipement d'opérations, de mesure et de traitement des composantes nationales ( <b>Etats membres</b> )	0	5000	5000	5000	5000
Mise en œuvre du Master spécialisé ( <b>Centre AGRHYMET</b> )	0	68.5	68.5	68.5	68.5
Mise en place et gestion de données nationales ( <b>Etats membres</b> )	0	50	20	20	20
Mise en place d'un système régional de base de données ; Mise en réseau des radars ; outils et stratégies de communication pour le programme ; Evaluation régionale du programme. ( <b>CILSS et Etats membres</b> )	11	50	100	100	50
Elaboration et mise en œuvre des programmes de recherche et développement	0	55	55	55	55
Rencontre nationale de concertation sur le programme ( <b>Etats membres</b> )	0	5	5	5	5
Organisation par la composante Régionale d'ateliers régionaux sur le programme ( <b>CILSS</b> )	0	24	24	24	24
<i>Evaluation de la rentabilité économique annuelle du programme par composante nationale (<b>Etats membres</b>)</i>	0	10	10	10	10
<b>Totaux annuels</b>	<b>11</b>	<b>5446,5</b>	<b>5466.5</b>	<b>5466.5</b>	<b>5369.5</b>
<b>Budget des activités (contribution attendue)</b>	<b>21760</b>				
<b>Part des Etats et CILSS par rapport au budget global</b>	<b>37.71%</b>				

N.B : les données sont en millions de FCFA

## VI.2.2 Contributions attendues des partenaires au Développement

Activités	1 <sup>ère</sup> année	2 <sup>ème</sup> année	3 <sup>ème</sup> année	4 <sup>ème</sup> année	5 <sup>ème</sup> année
Infrastructure, logistique et fonctionnement de la composante régionale	385	330	330	330	330
Elaboration par la coordination régionale des Programmes du Master spécialisé en physique et chimie des nuages	11	0	0	0	0
Elaboration par la coordination régionale de méthodologie d'évaluation	0	110	0	0	0
Frais de fonctionnement des composantes nationales	0	30	30	30	30
Elaboration et mise en œuvre des programmes des programmes de formation/action	0	340	120	120	55
Signature des protocoles d'entente scientifique avec des partenaires scientifiques pour la mise en œuvre du programme	0	7	7	7	4
Dotation en équipement d'opérations, de mesure et de traitement des composantes nationales		6500	6500	6500	6500
Mise en œuvre du Master spécialisé	0	100	100	100	100
Mise en place et gestion de données nationales	0	54	9.7	9.7	9.7
Mise en place d'un système régional de base de données ; Mise en réseau des radars ; outils et stratégies de communication pour le programme ; Evaluation régionale du programme.	0	60	340	340	49
Elaboration et mise en œuvre des programmes de recherche et développement	0	55	55	55	55
Rencontre nationale de concertation sur le programme	0	6	6	6	6
Organisation par la composante Régionale d'ateliers régionaux sur le programme	0	20	20	20	20
<i>Evaluation de la rentabilité économique annuelle du programme par composante nationale</i>	<i>0</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>
<b>Totaux annuels</b>	<b>396</b>	<b>7622</b>	<b>7527.7</b>	<b>7527.7</b>	<b>7168.7</b>
<b>Budget des activités (contribution attendue des partenaires au Développement)</b>	<b>30242.1</b>				
<b>Part des partenaires par rapport au budget global</b>	<b>52.42%</b>				

N.B. : les données sont en millions de FCFA

### VI.2.3 Budget consolidé

Activités	1 <sup>ère</sup> année	2 <sup>ème</sup> année	3 <sup>ème</sup> année	4 <sup>ème</sup> année	5 <sup>ème</sup> année
Infrastructure, logistique et fonctionnement de la composante régionale	385	330	330	330	330
Elaboration par la coordination régionale des Programmes du Master spécialisé en physique et chimie des nuages	11	-	-	-	-
Elaboration par la coordination régionale De méthodologie d'évaluation	-	110	-	-	-
Frais de fonctionnement des composantes nationales	-	110	110	110	110
Elaboration et mise en œuvre des programmes Des programmes de formation/action	-	440	220	220	110
Signature des protocoles d'entente scientifique avec des partenaires scientifiques pour la mise en œuvre du programme	-	11	11	11	6
Dotation en équipement d'opérations, de mesure et de traitement des composantes nationales		11500	11500	11500	11500
Mise en œuvre du Master spécialisé	-	168.5	168.5	168.5	168.5
Mise en place et gestion de données nationales	-	104	29.7	29.7	29.7
Mise en place d'un système régional de base de données ; Mise en réseau des radars ; outils et stratégies de communication pour le programme ; Evaluation régionale du programme.	11	110	440	440	99
Elaboration et mise en œuvre des programmes de recherche et développement	-	110	110	110	110
Rencontre nationale de concertation sur le programme	-	11	11	11	11
Organisation par la composante Régionale d'ateliers régionaux sur le programme	-	44	44	44	44
<i>Evaluation de la rentabilité économique annuelle du programme par composante nationale</i>	-	20	20	20	20
<b>Totaux annuels</b>	<b>407</b>	<b>13068,5</b>	<b>12994,2</b>	<b>12994,2</b>	<b>12538,2</b>
<b>Budget des activités</b>	<b>Part par rapport au budget global</b>		<b>52002,1</b>	<b>90.13%</b>	
<b>Frais de gestion OMM</b>	<b>Part par rapport au budget global</b>		<b>5693,503</b>	<b>9.87%</b>	
<b>Budget total</b>	<b>57695,603</b>				

N.B. : les données sont en millions de FCFA

Nous rappelons que ce budget consolidé est pour l'ensemble des neuf Etats membres. En annexe figure un coût estimatif type pour un pays qui se situerait autour de 6 milliards de FCFA.

### **VI.3 Partenariats**

**Les Partenaires au Développement à solliciter sont les suivants :**

a) Partenaires techniques

- L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM)
- L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)
- Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE)
- ACMAD
- CIRAD
- L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)
- L'UNESCO
- Universités et Centres Nationaux de recherche des pays membres du CILSS
- Centres Internationaux de Recherche

b) Partenaires au développement

- l'Agence Canadienne de Développement International (ACDI)
- Le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI)
- L'UNION Européenne
- L'USAID
- La coopération Danoise
- La coopération Française
- La coopération Italienne
- La coopération Suédoise
- L'Arabie Saoudite
- La BADEA (Soudan)
- La Banque Africaine de développement (BAD)
- La Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest (BCEAO)
- La Banque Islamique de Développement (BID)

- La Banque mondiale
- La GTZ
- Le FEM
- Le Japon
- Le Koweït
- Les Emirats Arabes Unis
- des Pays BAS
- UEMOA
- CEDEAO
- CEMAC
- NEPAD
- CENSAD
- IGAD
- SADEC
- UMA(Union du Maghreb Arabe)
- L'Union Africaine
- Fondations diverses

## **VI.4 Suivi et évaluation**

### **VI.4.1. Le suivi**

#### a) Définition et objectifs

Le suivi d'un projet est une procédure qui permet à travers la mise en place d'un certain nombre de mécanismes de voir l'évolution de l'exécution du programme en cours dans toutes ses composantes. Pour ce faire, il est important de prévoir des instruments de mesure appelés indicateurs.

En comparant ce qui est prévu et ce qui est effectivement réalisé, on peut procéder aux ajustements nécessaires pour atteindre à la fin du programme les objectifs définis.

b) Les principaux indicateurs

- indicateur de mobilisation des financements ( $I_{mf}$ )

$$I_{mf} = \frac{\text{Financements acquis}}{\text{Financements prévus}}$$

- indicateur d'adhésion ou d'appropriation du programme par les Etats ( $I_{ae}$ )

$$I_{ae} = \frac{\text{Nombre d'Etats ayant contribué}}{\text{Nombre total des Etats Membres du CILSS}}$$

- indicateur d'exécution ( $I_e$ )

$$I_e = \frac{\text{Investissement réalisé}}{\text{Investissement prévu}} = \frac{\text{Décaissements réalisés}}{\text{Décaissements prévus}}$$

A cet indicateur, on peut adjoindre un indicateur de réalisation des travaux ( $I_{rt}$ )

$$I_{rt} = \frac{\text{Nombre de travaux réalisés}}{\text{Nombre de travaux prévus}}$$

#### VI.4.2. Indicateurs d'évaluation

a) Définition

L'évaluation d'un projet ou d'un programme consiste à mesurer les performances du projet dans ces différentes composantes en relation avec les objectifs fixés. Pour ce faire, il est mis en place un certain nombre d'indicateurs d'évaluation. Dans le cas présent, on va développer les indicateurs suivants :

- impact environnemental ;
  - impact socio-économique ;
  - impact financier.
- indicateur d'impact environnemental
    - . taux de remplissage des barrages ;

- . pourcentage d'accroissement de la production hydroélectrique ;
  - . nombre d'inondations par an ;
  - . taux de réduction de la fréquence des sécheresses au cours des 5 ans ;
  - . taux de réduction des poches de sécheresse au cours des 5 ans ;
  - . taux de régénérescence de la végétation ;
  - . perte d'érosion.
- indicateurs socio-économiques
    - . indicateur d'évolution des conflits agriculteurs/éleveurs (nombre de conflits par an) ;
    - . taux de croissance des différentes spéculations :
      - cultures céréalières ;
      - cultures de rente.
    - . évolution des rendements des différentes spéculations
- indicateurs financiers
    - . évolution des pertes ;
    - . pertes cumulées ;
    - . nombre d'années des pertes ;
    - . évolution des marges ;
    - . marges cumulées de la période ;
    - . Marges/pertes de la période = Marges - Pertes

## CONCLUSION

Le recours à l'ensemencement des nuages pour augmenter les précipitations dans les pays du CILSS est une composante de l'initiative « Maîtriser l'eau pour faire reculer la faim au Sahel » (XIV<sup>ème</sup> sommet de Nouakchott, 2004), et une action prioritaire de la « Plateforme Commune des Pays Sahéliens pour la Maîtrise de l'Eau au Sahel ». C'est aussi un élément de la stratégie d'adaptation aux effets néfastes de la variabilité et changements climatiques, changements climatiques qui pourraient augmenter les besoins de stockage de l'eau au Sahel pour différents types d'utilisation.

En premier lieu, le plan météorologique, la nature des systèmes pluvio-gènes rencontrés dans cette zone ainsi que leurs propriétés microphysiques assurent une faisabilité des opérations d'ensemencement sur le plan technique, aussi bien pour les nuages dits "froids" que ceux dits "chauds". Pour la mise en œuvre du programme, les pays membres du CILSS pourront constituer trois groupes comprenant respectivement, les pays continentaux enclavés (Tchad, Niger, Burkina Faso et Mali), les pays à façade maritime (Mauritanie, Sénégal, Gambie et Guinée Bissau) et enfin les Iles du Cap Vert, groupes dont les évolutions pluviométriques semblent aussi les mieux corrélées.

L'organisation institutionnelle à mettre en place dans le cadre de la mise en œuvre du Programme APENS doit développer dans le pays une réelle prise en charge des différents aspects liés à la réalisation de l'objectif d'augmenter les précipitations.

En phase opérationnelle, la preuve de l'efficacité d'une méthode d'ensemencement dans le contexte de chacun des pays du CILSS doit d'abord être recherchée avant de pouvoir espérer que cette technologie puisse mettre à l'abri les populations des risques de sécheresse.

La faisabilité du programme APENS passe aussi par l'adoption et l'adaptation à leurs contextes, par les programmes nationaux des procédures opérationnelles déjà élaborées et mises

en œuvre par le Programme SAAGA du Burkina Faso, ainsi que par la mise en œuvre des recommandations de la Conférence de Ouagadougou de mai 2004.

Il est indispensable de se fixer pour objectif d'augmenter d'un certain pourcentage les pluies moyennes reçues sur l'ensemble des zones (cibles/évaluation). A cet effet, les pays définiront dès la première année d'exécution de leur programme national ces zones qui seront considérées comme telles jusqu'à l'obtention des statistiques permettant une évaluation conforme aux règles internationalement acceptées.

Pour réaliser ce programme le CILSS devra mettre en place un Comité Scientifique multidisciplinaire qui comprendra en plus des scientifiques des pays membres, des représentants du programme spécialisé de l'OMM dans ce domaine, ainsi que des experts de renommée internationale.

Sur le plan économique, on s'attend à une amélioration sensible des rendements agricoles et donc d'une réduction conséquente de la pauvreté, en même temps qu'on pourra satisfaire les besoins en eau des populations.

Sur le plan financier, le programme APENS dégagera à moyen terme des surplus financiers qui augmenteront les revenus des populations et le budget de l'Etat.

Enfin, la mise en œuvre du Programme APENS contribuera sans aucun doute au renforcement de l'intégration sous-régionale et régionale, tout en servant d'expérience pilote de grande échelle dans le domaine de la modification artificielle.

# **ANNEXES**

<b>INVESTISSEMENT en US\$</b>	<b>Année 1</b>	<b>Année 2</b>	<b>Année 3</b>	<b>Année 4</b>	<b>Moyenne</b>
Acquisition d'un bimoteur pour mesures et traitements	<b>1 800 000</b>				<b>450 000</b>
Equipement de mesures (T, LWC, CCN, CDP, H%, P, Vent	<b>200 000</b>	<b>20 000</b>	<b>20 000</b>	<b>20 000</b>	<b>65 000</b>
Equipement télémétrie avion base	<b>20 000</b>				<b>5 000</b>
Accès réseau internet haut débit et Eumetsat	<b>10 000</b>				<b>2 500</b>
Equipement d'un deuxième bimoteur pour traitement		<b>1 500 000</b>	<b>10 000</b>	<b>5 000</b>	<b>378 750</b>
Réseau de pluviographes enregistreurs loi Z/R	<b>15 000</b>				<b>3 750</b>
RADAR 5 cm équipé de TITAN	<b>950 000</b>	<b>15 000</b>	<b>10 000</b>	<b>10 000</b>	<b>246 250</b>
Ordinateurs traitement TITAN et base de données	<b>15 000</b>				<b>3 750</b>
2ème RADAR 5 cm équipé de TITAN			<b>950 000</b>	<b>15 000</b>	<b>241 250</b>
Ordinateurs traitement TITAN et base de données			<b>15 000</b>		<b>3 750</b>
Disdromètre pour étude loi ZR et impact sol					
Sondes de suivi de la réserve hydrique des sols	<b>7 000</b>				<b>1 750</b>
<b>TOTAL en \$</b>	<b>3 017 000</b>	<b>1 535 000</b>	<b>1 005 000</b>	<b>50 000</b>	<b>1 401 750</b>
<b>Total en Francs CFA</b>	<b>1 677 322 269</b>	<b>853 393 995</b>	<b>558 736 785</b>	<b>27 797 850</b>	

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Moyenne
<b>OPERATION en US\$</b>					<b>par campagne</b>
Produits d'ensemencement	60 000	120 000	122 000	124 000	106 500
Mise en place de procédures de traitement	20 000	10 000	11 000	12 000	13 250
Etalonnage radar - Validation Loi Z-R	10 000	5 000	5 000	5 000	6 250
Formation TITAN pour radaristes et scientifiques	15 000	5 000	5 000	5 000	7 500
Complément de formation pilotes au traitement des cellules	15 000	5 000	5 000	5 000	7 500
Formation prévisionnistes sur modèle court terme	10 000	11 000	11 000	12 000	11 000
Formation à l'utilisation des capteurs CCN et aérosols	20 000				5 000
Compléments pour dépouillement et analyse	10 000	10 000	11 000	15 000	11 500
Appui aux personnels pour aider à l'évaluation	7 000	5 500	5 500	6 000	6 000
Consultants Scientifiques et techniques	40 000	40 000	22 000	24 000	31 500
<b>Total par campagne en US\$</b>	<b>207 000</b>	<b>211 500</b>	<b>197 500</b>	<b>208 000</b>	<b>206 000</b>
<b>En francs CFA</b>	<b>115 083 099</b>	<b>117 584 906</b>	<b>109 801 508</b>	<b>115 639 056</b>	<b>114 527 142</b>

<b>RECHERCHE en US\$</b>	<b>Année 1</b>	<b>Année 2</b>	<b>Année 3</b>	<b>Année 4</b>	<b>Moyenne par an</b>
Mesures aériennes aérosols, CCN et gouttelettes nuages	40 000	25 000	25 000	25 000	28 750
Validation Hypothèses (Agl et sels hygroscopiques)	15 000	15 000			7 500
Climatologie fine des précipitations avec TITAN	10 000	10 000	11 000	12 000	10 750
Optimisation de la loi Z/R avec Disdromètre si disponible	10 000	5 000			3 750
Prévision fine des évènements de pluie	5 000	5 000	5 000	10 000	6 250
Recherche sur l'influence des traitements sur les bilans hydriques à l'échelle de bassins versants représentatifs	20 000	25 000	25 000	30 000	25 000
Mise au point et optimisation d'outils pour l'évaluation	20 000	20 000	22 000	25 000	21 750
<b>Total budget recherche en US\$</b>	<b>80 000</b>	<b>80 000</b>	<b>63 000</b>	<b>77 000</b>	<b>75 000</b>
<b>En francs CFA</b>	<b>44 476 560</b>	<b>44 476 560</b>	<b>35 025 291</b>	<b>42 808 689</b>	<b>41 696 775</b>
<b>Total sur les 5 ans</b>				<b>166 787 100</b>	<b>92 726 455 755</b>

## BUDGET de Fonctionnement et investissements complémentaires

DESIGNATION	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	TOTAL	ANNEE 2	ANNEE 3	ANNEE 4
			ANNEE 1			
<b>I EQUIPEMENTS ET INFRASTRUCTURES</b>						
<b>1 Veille Météorologique</b>						
Baromètre	1	3 500 000	3 500 000			
Station automatique	5	3 000 000	15 000 000			
Liaison fibre optique (Siège/Tour Contrôle)	1	15 000 000	15 000 000			
Groupe Electrogène pour radar et ordinateurs	2	13 000 000	26 000 000			
Missions installation et maintenance	8	3 500 000	28 000 000	15 000 000	16 000 000	17 000 000
<b>Sous sous Total 1</b>			<b>87 500 000</b>			
Radio VHF sol-air	5	550 000	2 750 000			
Radio VHF sol-sol (talky)	15	550 000	8 250 000			
Maintenance				2 000 000	2 200 000	2 400 000
Station de Base	1	1 300 000	1 300 000			
Relais pour dist>10km	1	4 500 000	4 500 000			
Lignes téléphoniques	2	150 000	300 000			
<b>Sous Total 4</b>			<b>17 100 000</b>			
<b>2 Informatique</b>						
Ordinateurs	5	1 200 000	6 000 000			
Imprimantes	2	600 000	1 200 000			
Accessoires et Consommables	FF	5 000 000	5 000 000	5 000 000	5 000 000	5 000 000
Scanner	1	350 000	350 000			
Appareil photo numérique	1	550 000	550 000			
Projecteur d'écran	1	1 500 000	1 500 000			
Photocopieurs	2	5 000 000	10 000 000			
Maintenance				2 000 000	2 200 000	2 400 000
<b>Sous Total 5</b>			<b>24 600 000</b>			

**3 Transport**

Véhicules 4x4 Double Cabine	2	15 000 000	30 000 000			
Véhicules légers de liaison	2	10 000 000	20 000 000		12 000 000	
Moto	4	2 500 000	10 000 000		6 000 000	
<b>Sous Total 6</b>			<b>60 000 000</b>			

**4 Local aménagé et climatisé 5 salles, 150 m<sup>2</sup>**

<b>SOUS TOTAL I</b>			<b>189 200 000</b>			
---------------------	--	--	--------------------	--	--	--

**II RESSOURCES HUMAINES**

Visite de travail	4	5 000 000	20 000 000			
Formation et stage	6	10 000 000	60 000 000			
Personnel Temporaire	FF	50 000 000	50 000 000			
Personnel d'appui au programme	FF	100 000 000	100 000 000			
Campagne IEC	FF	10 000 000	10 000 000			

<b>SOUS TOTAL II</b>			<b>240 000 000</b>	268 800 000	290 304 000	301 916 160
----------------------	--	--	--------------------	-------------	-------------	-------------

**III FONCTIONNEMENT**

Kérosène pour Avion	FF	58 000 000	58 000 000	64 960 000	70 156 800	72 963 072
Carburant et lubrifiant pour véhicules	FF	10 000 000	45 000 000	50 400 000	54 432 000	56 609 280
Entretien	FF	10 000 000	10 000 000	11 200 000	12 096 000	12 579 840
Fret/Transit	FF	5 000 000	5 000 000	5 600 000	6 048 000	6 289 920
Mission sur terrain	5	5 000 000	25 000 000	28 000 000	30 240 000	31 449 600
Téléphone et réseau Internet	FF	5 000 000	5 000 000	5 600 000	6 048 000	6 289 920

<b>SOUS TOTAL III</b>			<b>148 000 000</b>			
-----------------------	--	--	--------------------	--	--	--

TOTAL			577 200 000	458 560 000	512 724 800	514 897 792
Divers	3 %		17 316 000	13 756 800	15 381 744	15 446 934

<b>TOTAL GENERAL en Francs CFA</b>			<b>594 516 000</b>	<b>472 316 800</b>	<b>528 106 544</b>	<b>530 344 726</b>
Soit en US\$			1 069 356	849 556	949 905	953 931

En US\$	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Total sur 4 ans		Moyenne par	
					en \$	en F CFA	an en \$	en F CFA
<b>Programme APENS-Composante Nationale</b>								
Opérations et Formations	207 000	211 500	197 500	208 000	824 000	458 108 568	<b>206 000</b>	114 527 142
Recherche	80 000	80 000	63 000	77 000	300 000	166 787 100	<b>75 000</b>	41 696 775
Dépenses de fonctionnement	1 069 356	849 556	949 905	953 931	3 822 749	2 125 284 070	<b>955 687</b>	531 321 017
Investissements	3 017 000	1 535 000	1 005 000	50 000	5 607 000	3 117 250 899	<b>1 401 750</b>	779 312 725
<b>Total par an en US\$</b>	<b>4 373 356</b>	<b>2 676 056</b>	<b>2 215 405</b>	<b>1 288 931</b>	10 553 749	5 867 430 637	<b>2 638 437</b>	<b>(FCFA)</b>
<b>Total par an en Francs CFA</b>	<b>2 431 397 928</b>	<b>1 487 772 261</b>	<b>1 231 670 128</b>	<b>716 590 321</b>	5 867 430 637		<b>US\$</b>	<b>1 466 857 659</b>

**Surface concernée par les missions**      **40 000 km²**

**Volume d'eau estimé en plus**  
**soit 10 % de 250mm soit**      **1 000 000 000 m3 en traitant 200 cellules par an**

**Soit environ 1,5 francs CFA le mètre cube**