



**Thèse de doctorat en cotutelle pour obtenir le grade de
docteur de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar
(UCAD/EDEQUE) et de l'Université de Liège (Campus
sciences de l'Environnement - Arlon)**

Spécialité : GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU

Année académique : 2021-2022

N° d'ordre :

Présentée par

Mor Talla SALL

**ACQUIS ET DYNAMIQUE DE L'IRRIGATION/DRAINAGE
DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL ET A LA
COMPAGNIE SUCRIERE SENEGALAISE ;
CONTRIBUTION A DES PRATIQUES INNOVANTES ET
DURABLES PORTEES PAR UNE
OPERATIONNALISATION DE LA GIRE**

Soutenue publiquement le 04 Juin 2022 devant le jury composé de :

Pr Saliou NDIAYE, ENSA, Université de Thiès
Dr Jean-Louis CHOPART, Agronome Ex CIRAD
Pr Serge Schmitz, Université de Liège
Dr Joost WELLENS, MC, Université de Liège
Pr Awa NIANG FALL, MC CAMES, UCAD
Dr Coura KANE, MA CAMES, UADB
Pr Alioune KANE, UCAD
Pr Bernard TYCHON, Université de Liège

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examinateur
Examinatrice
Examinatrice
Directeur de thèse
Co-directeur de thèse



Thèse de doctorat en cotutelle pour obtenir le grade de docteur de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (EDEQUE) et de l'Université de Liège (Campus sciences de l'Environnement d'Arlon)

Spécialité : GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU

Année académique : 2021-2022

N° d'ordre :

Présentée par

Mor Talla SALL

**ACQUIS ET DYNAMIQUE DE L'IRRIGATION/DRAINAGE
DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL ET A LA
COMPAGNIE SUCRIERE SENEGALAISE :
CONTRIBUTION A DES PRATIQUES INNOVANTES ET
DURABLES PORTEES PAR UNE
OPERATIONNALISATION DE LA GIRE**



SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	6
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	8
AVANT-PROPOS	11
DEMARCHE SCIENTIFIQUE	12
INTRODUCTION GENERALE	14
I. Cadre théorique de l'étude dans le Delta : les principaux concepts	15
II. Problématique et question principale	22
III. Justificatifs	23
IV. Objectifs et hypothèses de départ	24
V. Méthodologie	24
Première partie : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET HISTORIQUE DE LA PRATIQUE DE L'IRRIGATION DANS LE DELTA	27
CHAPITRE 1 : Analyse Physique et des systèmes de production dans le Delta	31
CHAPITRE 2 : Analyse historique de l'irrigation dans le Delta	46
CHAPITRE 3 : Analyse transversale des principales problématiques soulevées par les données historiques	58
CHAPITRE 4 : Les deux principaux systèmes de productions dans le Delta et leurs évolutions possibles à court et moyen terme	80
CHAPITRE 5 : Orientation des investissements productifs : premier niveau de correction structurelle	90
Deuxième partie : LES MUTATIONS TECHNOLOGIQUES NECESSAIRES A UNE IRRIGATION EFFICIENTE DANS LE DELTA : PRATIQUES ET OUTILS D'AIDE A LA DECISION PERTINENTS	99
CHAPITRE 6 : Salinité et drainage des sols : approche pratique de lessivage des sels solubles	102
CHAPITRE 7 : Efficience des systèmes d'irrigation de surface : optimisation des pratiques à l'aide des calendriers d'irrigation générés avec AquaCrop	121
CHAPITRE 8 : Une approche innovante pour asseoir une gestion durable des aménagements hydro-agricoles dans le Delta : le Nexus Eau-Aliment-Energie	138
Troisième partie : OPERATIONALISATION DE LA GIRE : UNE STRATEGIE DURABLE DES SYSTEMES IRRIGUES DANS LA ZONE DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	160
CHAPITRE 9 : Quelle option pertinente pour la préservation des systèmes agricoles dans le delta : une GIRE opérationnelle et adaptée au contexte local	163

CHAPITRE 10 : Approche complémentaire obligatoire à la GIRE : élaboration d'une stratégie de renforcement de capacités à l'intention des acteurs du secteur de l'eau agricole dans le Delta	183
CONCLUSION GENERALE	191
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	194
TABLE DES ILLUSTRATIONS	208
TABLE DES MATIERES	212
ANNEXES	217

IN MEMORIA

Je dédie ce travail à M Andre Froissard qui l'avait initié en interne mais qui malheureusement n'aura pas vu la fin de cette activité de recherche auquel il tenait tant. Malgré les rigueurs de nos journées surchargées, il n'a ménagé aucun effort pour que je puisse mener à bien ce travail en parallèle de mes activités professionnelles. Je lui en serais éternellement reconnaissant. Que sa famille trouve en ces quelques lignes, l'expression de ma profonde gratitude.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier un certain nombre de personnes sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour.

Professeurs *Alioune Kane* et *Awa Niang Fall* qui depuis plus de 10 ans m'ont souvent motivé pour travailler sur ces domaines. Ils m'ont fait rapidement confiance et ont cru en moi. Merci d'avoir accepté d'encadrer cette thèse Professeur Kane malgré votre calendrier chargé. Je suis très honoré de travailler avec vous deux.

L'Ecole Doctorale EDEQUE dirigé par le *Professeur Faye* qui a bien voulu m'accueillir pour cette thèse et à travers eux l'ensemble de la communauté scientifique et administrative de l'UCAD. J'ai pu bénéficier de conseils précieux de la part Prof Faye et des divers docteurs et doctorants collègues rencontrés : *Ndickou, Achiétou, Coura, Mor Tall*.

Messieurs *André Froissard* Ex Administrateur Directeur Général décédé en fin d'année 2020, *Georges Walter* ex Directeur des Plantations à la CSS, *Franck EBA* Directeur Général de la CSS, qui ont soutenu, encouragé et accompagné ce travail.

L'équipe de recherche du Campus Sciences de l'Environnement d'Arlon avec à sa tête le Professeur *Bernard Tychon* et comme encadrant Dr *Joost Wellens* qui ont accepté la co-tutelle et œuvré d'arrache-pied pour me pousser au maximum dans la rigueur de la réflexion scientifique. Joost s'est particulièrement impliqué dans cette thèse avec de multiples séjours au Sénégal et le co-encadrement de deux stages de master : *Pauline et Charlotte*. Ma gratitude à vous tous et à toute l'équipe dans sa belle diversité (*Palé, Hamid, Marie, Rami, Ingrid, Dior, Antoine, Moussa*).

Remerciements au Docteur *Jean Louis Chopart* ex CIRAD qui m'accompagne dans ma quête de savoir depuis 2003 à l'Ile de la Réunion. Vous êtes plus actif que les jeunes avec une forte rigueur scientifique et un sens d'écoute inné. Mes sincères remerciements aussi au Docteur *Jean-Christophe Poussin* de l'IRD qui a cru à ce sujet et nous à aider à contacter le laboratoire Eau Environnement Développement de Arlon à la suite du premier comité de thèse.

Je remercie le *Professeur Saliou Ndiaye* de l'Université de Thiès pour avoir bien voulu présider mon jury de soutenance malgré ses charges professionnelles importantes. Votre expertise avérée sur ces sujets ne pourra que bonifier vos remarques sur ce travail. Merci également au Professeur *Serge Schmitz* d'avoir bien voulu accepter de faire partie de mon jury.

Félicitations et remerciements pour l'équipe de *Richard Toll* avec l'implication de tout le monde, des chefs de services aux ouvriers agricoles sur le terrain pour les relevées de données. Mes collaborateurs ont pleinement participé à ce travail (surtout *Amadou Ndiaye* et l'équipe hydro-pédo) et leur mérite doit être souligné ici. Mention spéciale à mon assistante Mme *Oumy Ndiaye Diabang* et à *M Sekou Diedhiou*.

Un remerciement à tous les résidents de maison communautaire de Arlon avec qui j'ai partagé régulièrement pendant 3 ans les joies et peines de l'éloignement. *Palé Sié, Dior, Oussama, Barthel, Winnie, Lucia....*

Je ne saurais terminer sans tirer mon chapeau à mon ami, grand frère et mentor *Docteur Adrien Coly* de l'UGB qui m'a toujours soutenu, conseillé et appuyé depuis plus de 14 ans. Notre

rencontre au niveau de Keur Momar sur les prémices de la GIRE avec la DGPRE puis avec les Campus Eau UGB (avec *Drs Fatimata Sall, CBC Diatta, Penda Diop*) jusqu'au PNES. Merci à mon frère *Dr Boubacar Cissé* pour les données OLAC mais surtout les conseils précieux. J'y associe Professeur *Awa Niang* Directrice de l'ISEP de Richard Toll pour nos discussions constructives. Un grand merci aussi aux collègues de la DGPRE (*Matar Sall, Niokhor Ndour*) et de la SAED (*Mamadou Ba, Bécaye Ba, Abou Sall*).

Je m'incline devant la mémoire de deux illustres disparus de l'UGB (Professeurs *Mateugue Diack et Mariama Dalanda Diallo*). A tous les êtres chers que nous avons perdus durant cette terrible pandémie.

Pour finir je dédie ce travail à mes parents, à mon fils *Mohamed*, à mes amis et soutiens et surtout à ma grand-mère partie trop tôt.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

3PRD : Projet de Promotion du Partenariat Rizicole dans le Delta

ACDI : Agence Canadienne de Développement International

ACT4SSAWS : Appropriate Capacity and Training to benefit Sub-Saharan Africa Water Security

AGHRYMET : Centre Régional Aghrymet

ANIDA : Agence Nationale d'Insertion et de Développement

AgricoleAOF : Afrique Occidentale Française

APIX : Agence pour la Promotion des Investissements et Grand

Travaux BNDE : Banque Nationale pour le Développement Economique

CASL : Compagnie Agricole de Saint Louis

CILSS : Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel

CINAM : Compagnie d'études industrielles et d'aménagement du territoire

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CEMAGREF : Centre d'Etude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et forêts

CFPH : Centre de Formation Professionnelle et Horticole

CPSP : Caisse de Péréquation et de Stabilisation des Prix

CNCAS : Caisse Nationale de Crédit Agricole du Sénégal

CNFPRT : Centre National de Formation Professionnelle de Richard Toll

CORAF : Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles

CSS : Compagnie Sucrière Sénégalaise

CUMA : Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole

DER : Délégation de l'Entreprenariat Rapide

DGPRES : Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau

DPEE : Direction de la Prévision et des Etudes Economiques

DGCIP : Direction Générale de la Coopération Internationale et du Développement

ENCR : Ecole Nationale des Cadres Ruraux de Bambey

FAO : Food and Agriculture Organisation

FED : Fond Européen de Développement

FONGIP : Fonds de Garantie des Investissements Prioritaires

FONSIS : Fonds Souverain d'Investissements Stratégiques

FOMAED : Fonds de Maintenance des Adducteurs et Emissaires de Drainage

GDS : Grands Domaines du Sénégal

GOANA : Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance

ICRISAT : L'Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides

IFPRI : International Food Policy Research Institute

IISD: International Institute for Sustainable Development

IRAT : Institut de Recherche Agricole Tropicale

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

ISEP Institut Supérieur d'Enseignement Professionnel

ISFAR : Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ex-ENCR)

ISRA : Institut Sénégalais de Recherche Agricole

IWMI : International Water Management Institute

JICA : Japan International Coopération Agency

LDN : Loi sur le Domaine National

MAS : Mission d'Aménagement du Fleuve Sénégal

MCA : Millenium Challenge Account

NEPAD : Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique

NPA : Nouvelle Politique Agricole

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

OLAC : Office des Lac et Cours d'Eau

OMD : Objectifs de Développement du Millénaire

OMVS : Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal

ONCAD : Office Nationale de Coopération et d'Assistance au Développement

OP : Organisation Paysanne

ORTAL : Entreprise de Travaux Agricoles du Delta

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer

PAGIRE : Plan de Gestion Intégré des Ressources en Eau

PAPRIZ : Projet d'Amélioration de la Productivité du Riz

PDIDAS : Projet de Développement Inclusif et Durable de l'Agribusiness au Sénégal

PDMAS : Programme de Développement des marchés agricoles et agro-alimentaires du Sénégal

PDRG : Programme de Développement de la Rive Gauche

PEPAM : Programme d'Eau Potable et D'Assainissement du Millénaire

PREFERLO : Projet de Renforcement de la Résilience des Ecosystèmes dans le Ferlo

PGIRE : Programme de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement des Usages Multiples du bassin du fleuve Sénégal

PRODAC : Le Programme des Domaines Agricoles Communautaire

PREFELAG : Projet de Restauration des Fonctions Ecologiques et Economiques du Lac de Guiers

PIV : Périmètre Irrigué Villageois

PSE / PRACAS : Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise/
Programme Sénégal Emergent

REVA : Projet Retour Vers l'Agriculture

SAED : Société d'Aménagement et d'exploitation des terres du Delta et de la Vallée du Fleuve Sénégal

SATEC : Société Africaine de Terrassement, d'Equipement et de Construction

SDRS : Société de Développement Rizicole du Sénégal

SERESA : Bureau d'Etude et de Réalisations Agricoles

SIWI : Stockholm International Water Institute

SNTI : Société Nationale de Tomate Industrielle

SOCAS : Société des Conserves Alimentaires du Sénégal

SODEVA : Société de Développement de Vulgarisation Agricole

SOGED : Société de Gestion du Barrage de Diama

UGB : Université Gaston Berger

UNDP : Programme des Nations Unies pour le Développement

UV/FPA : Union Villageoise/ Fédération des Périmètres Autogérés

WBI : Wallonie Bruxelles International

WEF : World Economic Forum

AVANT-PROPOS

Cette dissertation est le fruit d'un long vécu dans le Delta du Fleuve Sénégal, depuis un premier séjour de mai à août 1997. Elle présente une réflexion enclenchée depuis plus de 20 ans dans cette zone du Fleuve Sénégal qui attire des intérêts multiples et variés mais aussi des chercheurs de tout bord (historiens, géographes, pédologues, environnementalistes, agronomes, hydrauliciens, sociologues et économistes).

Les questions que nous nous posons trouvent sûrement leurs réponses à travers toutes ces disciplines mais nous ne pouvons que répondre dans le confort et la maîtrise de ce que nous connaissons. Ces réponses sont donc à compléter et améliorer par d'autres qui, comme nous, sont intéressés par le développement agro-socio-économique de cette zone. Cependant, nous avons fait quelques incursions dans des champs d'étude qui ne sont pas spécialement le nôtre (sociologie et économie) et y avons surtout dégagé des pistes de réflexion en liens étroits avec les sciences agronomiques.

Après toutes ces années de pratique, de recherche, de discussions, de médiation (entre acteurs) et de formation, le Delta du Fleuve Sénégal demeure encore pour nous un mystère sur bien des points qu'aucun raisonnement scientifique pur ne pourra clairement élucider. Les visions individuelle et collective de beaucoup de ruraux dans cette partie du monde n'obéissent pas toujours à des équations ou des concepts rodés, fort heureusement. Cependant, les nouvelles approches et concepts développés ici, devraient aider certains d'entre eux à mieux s'armer face aux défis majeurs du futur marqués fondamentalement par les changements climatiques (incertitudes sur les ressources naturelles) et les conséquences de la dividende démographique (incertitudes sur les futures ressources humaines).

DEMARCHE SCIENTIFIQUE

- Un sujet et une problématique provisoires : *sur la dynamique d'aménagement et de gestion de l'eau agricole dans et autour du périmètre irrigué de la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS)*
- Mener sur les premiers mois une réflexion globale sur l'agriculture irriguée et les aménagements hydro-agricoles dans le Delta du fleuve Sénégal sur la base d'une *bibliographie prospective* (historique, politiques publiques, réalisations, recherches, organisations de la production)
- Faire ressortir les résultats positifs, les avancées, les gains mais aussi les échecs, les *faiblesses et les contraintes* à divers niveaux (technique, politique, social, économique)
- Insister sur les contraintes techniques ou physiques dans les aménagements liés particulièrement aux *déficits de maîtrise de gestion des eaux et sols* qui se trouvent être primordiaux
- Montrer que ces contraintes sont communes à celles qui se posent aussi dans le périmètre privé de la CSS qui se trouve logiquement, de par sa localisation, être un *condensé de toutes les conditions pédo-hydro-climatiques du delta*
- D'où une problématique et un sujet provisoires reformulés : *Dynamique et acquis de l'irrigation/drainage dans le Delta du fleuve Sénégal ; contribution à l'amélioration des pratiques dans et autour du périmètre gravitaire de la CSS*
- Ceci constitue la raison pour laquelle nous procéderons à une étude approfondie de ces facteurs dans ce site car disposant d'un contexte d'étude idéal pourvu d'un *réseau efficient de drainage*, condition obligatoire pour arriver à corriger ces déficits physiques en irrigation gravitaire (à la raie ou en submersion).
- Montrer, au terme de plusieurs années de mesures, de contrôle et d'expérimentation à la parcelle que *des avancées obtenues dans le périmètre de la CSS* sont intéressantes et peuvent participer à améliorer les conditions de culture irriguée dans les zones du delta ou d'ailleurs à contexte identique.
- Mais que malheureusement ces *corrections techniques et innovations technologiques ne peuvent pas être suffisantes* pour installer des modèles de production agricole irriguée durable. D'où une orientation souhaitée vers une approche GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau) qui puisse prendre en compte les autres dimensions indispensables (sociale, politique et environnementale).
- Cette **GIRE** doit avoir comme fondement et particularité, *l'accent mis sur le renforcement des capacités professionnelles et scientifiques* et la formation

continue en direction de tous les acteurs mais surtout vers les plus vulnérables (petits producteurs) et une meilleure *gestion du foncier rural*.

- *L'intégration de l'approche Nexus Eau/Aliment/Energie et de la pratique de la GIRE* devraient finalement aider à asseoir des modèles fiables et rentables, et ainsi promouvoir un développement intégré pour une atteinte rapide des objectifs de sécurité hydrique, alimentaire et énergétique.

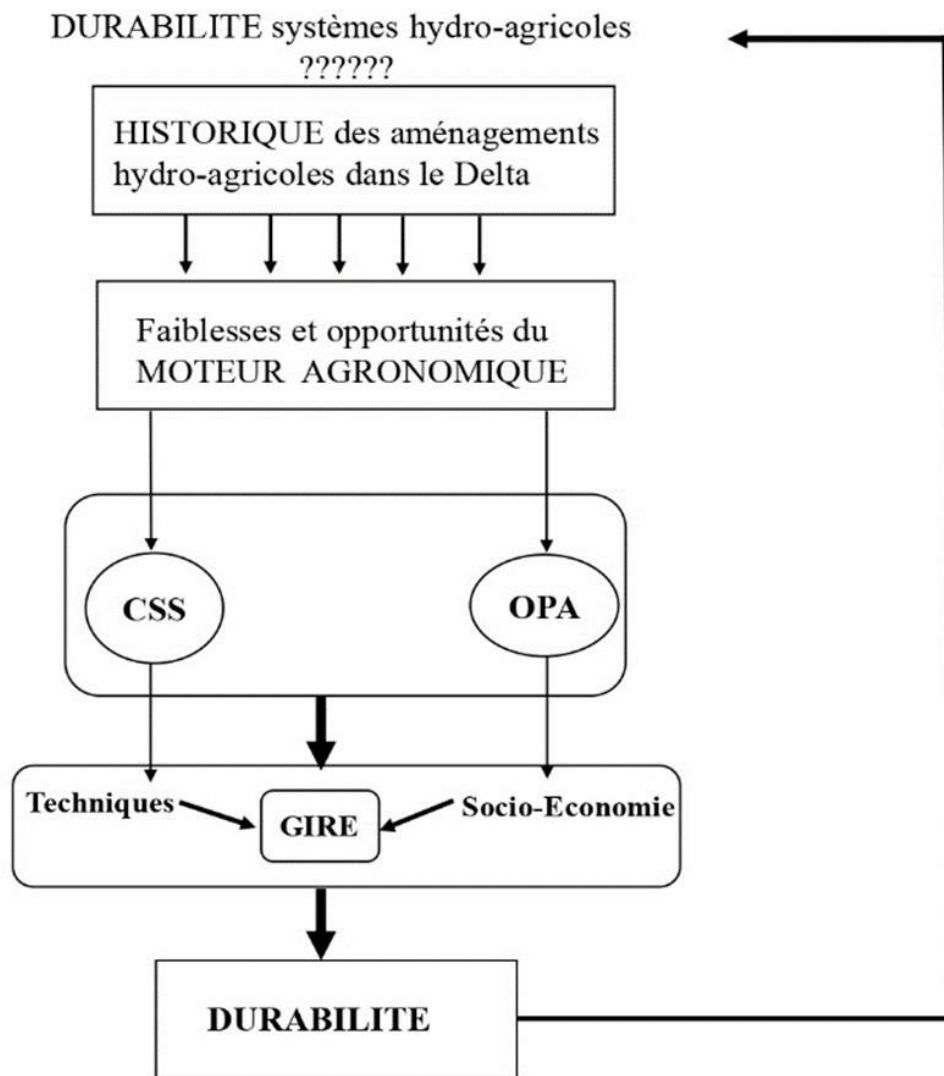


Figure 1 : Schéma conceptuel du projet de thèse : l'approche de cette thèse provient d'un questionnement sur la durabilité des systèmes d'irrigation sur la base d'une analyse complète des aménagements hydro-agricoles du delta mettant en exergue leurs différences agronomiques et leurs complémentarités surtout au niveau de l'approche GIRE, base solide de cette durabilité.

INTRODUCTION GENERALE

Les surfaces en production agricole irriguée ne représentent que 4 % en Afrique subsaharienne alors qu'elles sont de 29 % en Asie de l'est, 39% en Asie du sud (BM, 2009). Au Sénégal, ce pourcentage est passé à 5% en 2005 et à 8% en 2017 du fait d'une réelle volonté de promotion de l'agriculture irriguée. Une des problématiques actuelles de l'eau au Sahel est que 87% des investissements sont consacrés à l'eau pour la boisson ou à l'assainissement afin d'atteindre les OMD (Objectifs de Développement du Millénaire) au détriment de l'eau agricole qui pourtant représente 82% de la consommation nationale (Défis Sud, 2011). De ce fait, l'incidence première est la faible productivité agricole du Sénégal avec, comme dans la plupart des pays en développement, la non atteinte du seuil des 10% consacrés à l'agriculture dans le budget national, conformément à la déclaration de Maputo en 2003.

L'insuffisance des surfaces cultivées et des rendements, la faiblesse des investissements, des inputs et de la productivité du travail dans le contexte dominé par une agriculture familiale, pluviale et extensive donnent des niveaux de productivité en léger progrès mais du niveau de celles enregistrées dans les années 1960 (Diallo et al, 2013). Globalement, les surfaces cultivées ont peu varié durant 30 ans car elles ont augmenté de 3,9 % entre 1960/70 et 1970/80 puis baissé de 4 % entre 70/80 et 80/94. Le PIB national en 2014 a enregistré une légère hausse du secteur primaire de 0,8% contre 3,3% en 2013 à cause du sous-secteur agricole marqué par l'installation tardive des pluies dans plusieurs localités du pays (DPEE, 2014). Par contre, le bond important de la croissance de ce secteur entre 2012 et 2011 (+17,4%) dans le PIB s'explique par une excellente saison hivernale en 2012 (DPEE, 2013). Un modèle d'équilibre général permettant de promouvoir la croissance du PIB national et le bien-être de la population à partir de la pluviométrie a même été développé en partenariat avec la Direction de la Planification Nationale (BAD, 2014). Dans ce contexte, l'agriculture irriguée apparaît donc comme une obligation face à l'accélération des changements climatiques observés ces dernières années qui exposent directement et dangereusement l'agriculteur non équipé aux événements climatiques extrêmes (fortes chaleurs, inondations, sécheresse, espacement des pluies, pluies tardives...).

Les vallées et bassins versants des fleuves ont toujours constitué des zones de vie et de développement centrées autour de la maîtrise de l'eau. L'irrigation a fait le rayonnement de civilisations séculaires depuis le néolithique dans la vallée de la Mésopotamie, actuelles Syrie et Irak. Les premières grandes civilisations hydroagricoles dans l'Antiquité sont nées dans les oasis formés dans les vallées du Tigre, de l'Euphrate, du Nil et de l'Indus (Mazoyer et al, 2002). Pour certains historiens, l'Egypte antique, la Nubie le long du Nil et le Royaume Andalou hispano-berbère, ont influencé l'introduction de l'irrigation dans la Vallée du fleuve Sénégal du fait des relations commerciales avec l'Afrique subsaharienne (Tourte, 2005). D'autres chercheurs placent l'introduction de l'irrigation dans la Vallée à une période plus récente, durant la phase de colonisation agricole française. Mais il est sûr que l'irrigation avec réelle maîtrise de l'eau est une activité relativement récente dans la Vallée (Kane, 1997).

L'irrigation constitue un élément incontournable d'une stratégie globale de sécurité alimentaire dans la zone sahélienne (DGCIP, 2002). La Vallée du fleuve Sénégal constitua donc naturellement, avec la zone des Niayes, une des principales zones pionnières d'intensification agricole au Sénégal avec l'exploitation respectivement des ressources hydriques de surface et

souterraines. La production agricole dans le delta du fleuve Sénégal est intimement liée à la pratique de l'irrigation (Dia, 2010). Les conditions climatiques marquées par une forte évaporation, de fortes températures et une pluviométrie faible, très aléatoire et hétérogène en sont les principales causes. L'étude de la variabilité, de l'instabilité et de l'imprévisibilité actuelle du climat montre le bien-fondé du choix de recourir à cette pratique agronomique. D'après le rapport du GIEC (Stocker, 2013), la pluviométrie se maintiendrait dans la moyenne actuelle jusqu'en 2030-2035, puis diminuerait. Quel que soit le scénario prévu de l'augmentation des températures et même si les résultats de la COP 21 sont appliqués, il est à prévoir une baisse des rendements culturels autour de 2030 (FAO, 2009).

La problématique principale soulevée dans ce projet de thèse part donc de la nécessaire viabilisation des systèmes irrigués qui doivent apporter des solutions agricoles efficaces face aux changements climatiques. Des études de l'IWMI en 2007 (Déméter, 2013) placent la région du Delta du fleuve Sénégal parmi celles qui ne connaissent pas la rareté physique de l'eau mais surtout une rareté économique du fait de la faiblesse des investissements structurants nécessaires pour y accéder correctement. Des études de la FAO et de l'IWMI (Déméter 2013) soulignent que la croissance des superficies irriguées dans les zones tropicales devrait être plus faible que lors des décennies précédentes en raison d'insuffisances avérées en financements des infrastructures nécessaires. Elle sera aussi plus coûteuse qu'auparavant avec des difficultés techniques, politiques et organisationnelles pour faire fonctionner convenablement les équipements hydro-agricoles. Mais elle subira surtout l'impact des changements climatiques jugés importants ou très incertains. La résilience des systèmes agricoles irrigués constitue donc un enjeu majeur. Dans ce cadre, l'amélioration de la gestion de l'eau agricole joue un rôle clé : quelles solutions pour une meilleure gestion de l'eau agricole dans un contexte de faibles investissements, d'insuffisance de la production et de changement climatique ?

I. CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE DANS LE DELTA : LES PRINCIPAUX CONCEPTS

La pratique de l'irrigation est intimement liée à la disponibilité de la ressource en sols cultivables aptes à l'irrigation, aux ressources en eau pour cette irrigation et à la connaissance des besoins en eau des cultures. Ces sols peuvent varier d'une texture très légère (sableuse) à des textures très lourdes (argile) avec des capacités de stockage en eau différentes (**Capacité de Rétention en Eau**). D'autres contraintes pédologiques peuvent s'y greffer (salinité, compaction et faible perméabilité, mauvaise structure...) entraînant des besoins de pratiques spécifiques ou localisées d'irrigation. Les cultures ont des besoins en eau variables liés à de nombreux facteurs : leur stade de développement, leur surface foliaire, leur hauteur, leur métabolisme (la canne à sucre est une plante à en C4) et à des cycles de longueurs variables. Cette demande en eau d'une culture que nous appelons **besoins en eau de la culture** est donc à la fois liée au climat (température, évaporation, vent, radiation solaire) Eq1, à l'espèce, et à l'âge ou stade phénologique (Kc) de la culture (Eq2).

$$ETP (mm) = EvBac (mm)*Kb \quad (Eq1)$$

$$Besoins en eau (mm) = ETM (mm) = ETP (mm)*Kc \quad (Eq2)$$

L'**ETP** ou l'Evapotranspiration Potentielle est la demande climatique en eau et se calcule ici avec E_v Bac ou Evaporation bac de classe A et le K_b ou coefficient bac saisonnier. Les besoins en eau de la culture ou ETM (Evapotranspiration Maximale) se calculent à partir de l'ETP et du K_c ou coefficient cultural qui dépend de la plante et de son stade de développement.

Ce sont là des données variables qui nécessitent une connaissance précise du climat local et de sa variabilité, pour contribuer à dimensionner un réseau d'irrigation.

Le bilan hydrique peut être défini comme étant le calcul de l'écart entre une offre et une demande en eau sur une unité de surface sur une période donnée afin d'évaluer le déficit ou l'excédent possible.

Le besoin d'irriguer une culture découle d'un bilan hydrique déficitaire à cause d'une pluviométrie insuffisante et/ou aléatoire pour satisfaire aux besoins en eau de la culture sur cette unité de surface. Un apport artificiel est alors nécessaire pour satisfaire le déficit calculé. L'irrigation est alors un moyen efficace pour assurer à la culture sa croissance optimale en vue d'obtenir des rendements satisfaisants (Tiercelin et al, 1998).

Le bilan hydrique d'une culture sans déficit hydrique (à l'**ETM**) peut être calculé de façon simplifiée par l'équation suivante (Eq3).

$$0 = P + I - ETM - D - R \text{ avec} \quad (Eq3)$$

$$P (mm) = \text{Pluviométrie}$$

$$I (mm) = \text{Irrigation}$$

$$ETM (mm) = \text{Evapotranspiration Maximale}$$

$$D (mm) = \text{Drainage}$$

$$R (mm) = \text{Ruissellement}$$

Pour maintenir la culture en conditions d'alimentation hydrique optimale, il faudra donc, dans certaines conditions (en particulier en cas de pluies insuffisantes), fournir un apport d'eau complémentaire sous forme d'irrigation I (Eq4) équivalent à :

$$I = ETM + D + R - P \quad (Eq4)$$

Le Drainage (D) et le ruissellement (R) représentent la partie de l'eau, issue de la pluviométrie ou de l'irrigation, rendue indisponible pour satisfaire aux besoins de la culture car perdue par percolation hors de la zone racinaire (D) ou par ruissellement (R) vers la colature.

Ce drainage constitue également **l'assainissement agricole** qui, grâce à dispositifs et infrastructures spécifiques, assure à la plante un cadre de croissance de ses racines dans un sol aéré, humidifié de façon optimale et donc pourvu d'une activité microbienne favorable.

L'apport d'eau ou **Irrigation** peut être raisonné principalement et schématiquement de deux manières :

- Selon les **besoins en eau journaliers** de la plante qui sont alors administrés par un système adapté (essentiellement le goutte à goutte ou la micro-irrigation). Ce modèle est basé sur une connaissance fine des principaux facteurs climatiques concernés que

sont la pluie (P) et l'évapotranspiration journalière (ETM). Le réservoir sol est alors pas ou peu pris en compte.

- Selon le degré de remplissage de la **Réserve maximale en eau Utile (RU)** du sol. La RU est une réserve théorique qui représente la capacité maximale de stockage en eau d'un sol, à la capacité au champ sur la profondeur occupée par les racines.
- A partir de la RU, il est possible d'estimer un volume d'eau plus facilement disponible pour la plante et où elle va puiser ses besoins journaliers. En effet toute la Réserve théorique estimée ne pourra être utilisable car une partie de l'eau dans le sol est difficilement extractible par les racines. De plus, il ne peut y avoir de RU fonctionnelle s'il n'y a pas de racines dans une partie du sol entre la surface et la profondeur du front racinaire. Cette fraction de la RU est appelée **Réserve Facilement Utilisable (RFU)**. Lorsque la réserve en eau du sol descend en dessous de la RFU, la plante commence à avoir des difficultés à s'alimenter en eau, notamment pendant les heures les plus chaudes de la journée. Le moment où le stock d'eau commence à descendre en dessous de la RFU est souvent considéré comme le facteur de déclenchement d'une nouvelle irrigation.

La première forme d'irrigation qui a toujours existé près des sources d'eau est **l'irrigation manuelle** (oasis, « *céanes* », forages, marigot, bassin de retenue...). Elle est de loin la plus simple, la moins onéreuse, mais la plus dure physiquement et la plus lente. Elle peut être très efficace (irrigation manuelle localisée des arbres fruitiers avec la méthode *Irrigasc* (*méthode d'irrigation localisée par chaussette plastique avec apport d'eau manuel*, Gasc, 2017) par exemple comme faiblement efficace (maraichage dunaire avec arrosage manuel journalier et percolation importante). Actuellement au Sénégal, cette irrigation représente 71% des surfaces irriguées.

Les aménagements dans le delta du fleuve Sénégal sont essentiellement de type **gravitaire** avec station de pompage en tête de réseau (contrairement au niveau de l'Office du Niger où ils sont en gravitaire strict) dans des périmètres qui ont des parcelles plus ou moins morcelés et où l'écoulement de l'eau puise sa force dans le phénomène physique de gravité. Ici il s'agira d'avoir des pentes suffisantes (mais pas trop fortes) pour faire transiter l'eau d'un point A vers un point B tout en obtenant une infiltration suffisante dans cette partie du terrain devant satisfaire, sur un pas de temps maîtrisé, aux besoins en eau des cultures irriguées. Ces **techniques d'irrigation sont dites de surface** et sont possibles sur tous les types de sols hormis les sols très sableux à forte perméabilité.

Il est possible de mettre en place des dispositifs technologiques qui vont tendre à améliorer l'efficacité de l'irrigation de surface. Il s'agit essentiellement de **l'irrigation par tuyau souple** qui améliore la technique gravitaire par remplacement du canal parcelle avec un tuyau en PE traité et protégé des rayonnements solaires.

Ces techniques d'irrigation dites de surface sont relativement faciles à mettre en œuvre, mais génèrent une efficacité trop faible à deux niveaux (Rieu et al, 2003).

- **L'efficacité du réseau** d'amenée d'eau vers la parcelle (rapport entre la quantité d'eau admise à la parcelle et celle pompée en tête de réseau) du fait de la qualité du matériau en général une série connectée de canaux en terre non revêtus et compactés et qui est de l'ordre de 60% avec des pertes à divers niveaux (infiltration des canaux, évaporation du plan d'eau, fuites, cassures, piratage du réseau, enherbement massif des canaux...).
- **L'efficacité parcellaire** ou de la dose d'irrigation utile. Elle est le rapport entre la quantité d'eau finalement puisée par la plante sur la quantité totale délivrée à la parcelle (très faible de l'ordre de 40%) avec à ce niveau d'autres types de perte : forte infiltration hors de la zone des racines, drainage des excédents en fin de parcellaire, évaporation de l'eau à la surface du sol (Rieu et al, 2003).

Au final, ces systèmes d'irrigation de surface sont très consommateurs en eau avec une efficacité globale faible (autour de 50%) et des externalités négatives surtout au niveau des conséquences environnementales : drainage des excédents dans la nature, recharge et donc remontée des nappes salées, appauvrissement et dégradations des sols par une érosion hydrique (ruissellement et donc exportations des nutriments et des engrais) puis éolienne. Ces conséquences pédologiques et environnementales sont les bases d'une demande à la fois économique et technique de mieux gérer l'eau d'irrigation afin de développer un modèle agricole rentable, économe sur la ressource et acceptable sur le plan environnemental (Tiercelin et al, 1998).

Tous ces facteurs négatifs font que le besoin de changer ou d'améliorer le mode d'irrigation se pose à chaque fois qu'il est possible de s'orienter vers des techniques plus maîtrisables avec de meilleures efficacités et le moins de conséquences négatives agro-écologiques et environnementales. Ces techniques d'irrigation gravitaire décrites sont simples de par leur mise en œuvre (pas besoin de main d'œuvre qualifiée), mais consommatrices en main d'œuvre, de l'ordre de 30 à 40% de plus que les autres techniques nouvelles (Sall et al, 2015). Un choix se pose alors de promouvoir une technique génératrice d'emplois avec de meilleures efficacités. Ceci amène à prendre des décisions complexes qui font appel à des paramètres à la fois techniques, économiques, agronomiques et sociaux.

D'autres techniques d'irrigation peuvent améliorer cette efficacité mais exigent-elles aussi des conditions particulières et/ou des coûts supérieurs : l'irrigation sous pression. Il s'agit de l'irrigation par aspersion (technique qui imite la pluie naturelle) avec plusieurs variantes et de l'irrigation localisée sous forme de micro-irrigation ou d'apport grâce à des goutteurs. Ces dernières techniques sont actuellement de plus en plus utilisées de par le monde. L'irrigation dite goutte à goutte est un parfait exemple de la **technique d'irrigation sous pression** automatique ou automatisable avec un fort investissement technologique et une recherche appliquée en perpétuelle évolution. L'ensemble du réseau est bâti sur un ensemble bien dimensionné de tuyaux connectés avec des dispositifs de mise sous pression et de management de l'irrigation (filtration, fertigation, entretien réseau). Ce système est utilisable sur tous types de sol mais particulièrement adapté aux sols légers, fortement sableux et donc disposant d'une

très faible Réserve Utile. Dans ce cas précis l'irrigation est raisonnée suivant un apport journalier (fractionnable en plusieurs apports) des besoins en eau de la plante. L'efficacité est de l'ordre de 95% (Sall, 2005).

Dans un contexte donné de production agricole, il faut arriver à faire un choix d'un système d'irrigation qui puisse répondre économiquement aux moyens disponibles, au type de culture, mais surtout bien adapté aux facteurs endogènes biophysiques de base que sont le sol et le climat.

La technique d'irrigation localisée est de loin la plus efficace, la plus économique et la plus rentable, mais elle demande un capital technique et financier de départ que tout producteur ne pourra pas fournir. En effet, la grande majorité des exploitants agricoles en milieu rural sahélien ont des niveaux de revenus relativement faibles et une faible valeur ajoutée des productions ne leur permettant pas de s'équiper en matériels d'irrigation qu'il faudra faire fonctionner (carburant, pièces détachées), entretenir et amortir. Mais au-delà du choix de la technique et du dimensionnement, **le management des périmètres irrigués** reste l'axe majeur pour assurer la rentabilité d'une production irriguée. Ce management est lié au facteur humain (main d'œuvre et **gestionnaire formé**) appelé capital social (Figure 2), mais aussi aux moyens mis en œuvre pour assurer le fonctionnement, **l'entretien et l'efficacité d'utilisation du matériel**.

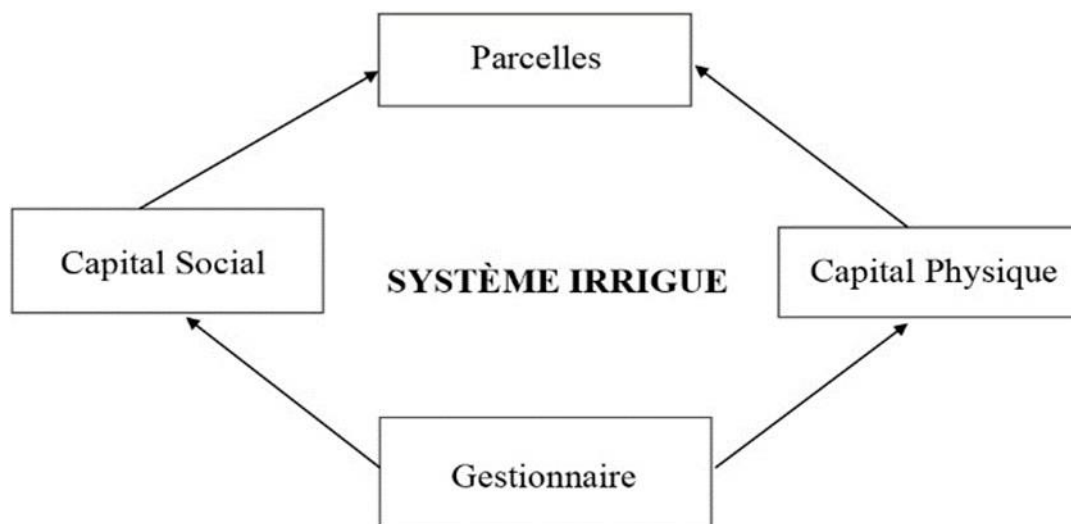


Figure 2 : schéma simplifié du management d'un système irrigué

On perçoit à travers cette approche, la nécessité de la concordance entre un capital technique souvent figé dans un réseau gravitaire (infrastructures et parcellaire) et un capital social souvent dynamique (personnel, règles, normes).

Plusieurs notions de base sont importantes pour mieux appréhender la dynamique des systèmes irrigués dans le Delta et leur management. Il faut bien comprendre les concepts clé et les différences entre système d'irrigation, système de production et système de culture et leur logique d'insertion dans le schéma hydraulique d'aménagement du bassin versant.

Schéma hydraulique du bassin versant : Il est constitué du canevas hydraulique complet du bassin versant avec la ou les sources d'eau, l'exutoire, les infrastructures communes de base, le tracé logique des chenaux d'irrigation, les cotes de gestion, les surfaces réellement irrigables par unité de temps.

Système de production : Il comprend le modèle technico-économique de gestion, la filière concernée, le produit, l'organisation mise en place et les systèmes d'irrigation utilisés, l'objectif de production vivrier ou de rente.

Système d'irrigation : Il est constitué du réseau d'irrigation, de ses équipements, de son système de pilotage. Il intègre aussi *les techniques et les pratiques d'irrigation* mises en œuvre à la parcelle.

Système de culture : Il comprend les itinéraires techniques de culture (ITK) donc les techniques et les pratiques culturales, l'assolement ou la monoculture. Il dépend aussi du niveau de mécanisation, du niveau d'utilisation des intrants (bio, extensif, raisonné).

Tous ces éléments sont bien-sûr interdépendants. On se focalisera ici sur les schémas hydrauliques et les systèmes d'irrigation. L'analyse des techniques et des pratiques d'irrigation et de drainage repose sur 3 points fondamentaux (Garin, 2003) :

- évaluation des performances du réseau d'irrigation ;
- analyse des pratiques d'irrigation à la parcelle ;
- évaluation des performances agricoles et des conséquences écologiques (environnementales) des irrigations.

Garin (2003) propose que l'approche sur l'évaluation des performances des périmètres irrigués sous réseau gravitaire (ou de surface) soit axée sur :

- les caractéristiques et les performances du réseau d'irrigation et de drainage ;
- une aide au gestionnaire pour évaluer son outil et à améliorer l'efficacité d'utilisation des moyens disponibles.

« Evaluer un Système irrigué, c'est étudier les interactions entre le périmètre physique, le groupe humain qui l'exploite, les lignées techniques et l'environnement physique et humain » (Molle et Ruf, 1994). Les lignées techniques peuvent se définir comme l'évolution des techniques et pratiques d'irrigation dans le temps et selon le type d'équipement.

• **Cadre d'analyse des pratiques d'irrigation :**

L'analyse des pratiques d'irrigation s'inspire de l'approche décrite par Jouve (1997) où la pratique d'irrigation est simplement perçue comme une pratique agricole. Elle sera cernée à deux niveaux :

- au niveau de l'exploitation ou du système de production, pour présenter et cadrer le terme pratique agricole en général dans le cadre d'un système de production. En effet, d'après Jouve (1997), les pratiques sont les façons de faire contingentes des « agriculteurs » qui résultent d'un savoir-faire empirique. En ce sens, elles découlent de l'expérience accumulée durant de nombreuses années. Ici, elles consistent essentiellement en des *stratégies* diverses, d'ajustements, censées résoudre les *contraintes* qui se posent dans la conduite quotidienne d'opérations culturales. Il

s'agira en début d'analyse de les observer et les décrire, de les expliquer à travers le point de vue des exploitants et ensuite d'en mesurer l'efficacité ;

- la mesure de l'efficacité se fera au niveau de la parcelle agricole à travers un certain nombre d'indicateurs et de paramètres hydrauliques et agricoles largement détaillés dans le diagnostic agronomique de parcelles au Maroc (Jouve, 1988). Les principaux termes seront le débit, la dose d'irrigation, les fréquences et durées d'irrigation, l'estimation de la satisfaction des besoins en eau des cultures à travers une approche théorique du bilan hydrique. La compréhension que les exploitants agricoles ont de leurs pratiques se fera au niveau des systèmes de culture.

L'étude de ces pratiques reste donc avant tout un travail de terrain continu, afin d'avoir une perception, la plus fine possible des réactions des producteurs face aux diverses situations culturales qui se présentent et de savoir si ces réactions sont routinières ou seulement ponctuelles.

• **La durabilité des systèmes irrigués sahéliens**

En zone sahélienne, où la contrainte climatique est un facteur clé de variabilité de la production agricole (pluviométrie surtout), **la durabilité des systèmes agricoles** est fortement entravée par la faible maîtrise de l'eau et de la pratique de l'irrigation. Nous pouvons rencontrer fort heureusement des systèmes de production pluviale à rendements fluctuants mais globalement durables à condition d'adapter en continu les espèces et les pratiques. Les décennies de sécheresse ont dégradé durablement les écosystèmes et rendu vulnérables les ruraux.

La notion de **durabilité** en agriculture irriguée en zone sahélienne fait souvent référence à la notion **d'intensification durable**. Cette intensification est l'option recherchée en mettant en combinaison des facteurs de production importants (maîtrise de l'eau, technologie d'irrigation, intrants agricoles, mécanisation, force de travail) pour arriver à augmenter les résultats agricoles et agro-industriels sur une surface déterminée. Cette forme d'organisation de la production que nous appelons ici systèmes de production irrigués tend toujours à avoir des incidences sur **l'écosystème** et donc sur les ressources naturelles disponibles et qui entrent dans sa mise en œuvre (les sols et les eaux) et les autres qui subissent sa mise en œuvre (la faune et la flore). Sa durabilité suppose alors la préservation de toutes ces ressources tout en maintenant un niveau **rentable et satisfaisant de la productivité**.

Milleville (1994) explique que « *le maintien ou le redressement de l'état des ressources productives du milieu, compte tenu de la nature et de la productivité d'un système agricole donné, correspondent à ce que nous pouvons convenir d'appeler la durabilité, considérée dans sa dimension écologique* ».

Pour que l'irrigation soit durable, il ne faut pas qu'elle engendre une dégradation de l'environnement et, en premier lieu, des sols (Barbier et al, 2011). La gestion conservatoire de cette ressource, au-delà de la bonne pratique de l'irrigation, peut résulter de trois grandes catégories de mécanismes et de leurs interactions :

- Les dispositifs naturels de mise en valeur ou de restauration comme **la jachère multiforme**

- Les techniques et pratiques culturales favorables à un équilibre écologique comme les successions culturales et l'apport de **matière organique**
- Les techniques d'aménagement et d'amélioration foncière des surfaces agricoles et qui doivent impacter durablement les caractéristiques physico-chimiques du milieu comme **l'assainissement agricole**.

Un des moyens les plus courants pour mesurer cette durabilité est de définir des **indicateurs de pression sur les ressources naturelles** utilisées par l'agriculture irriguée (Milleville et al, 1994). D'autres chercheurs ont mis l'accent sur la notion de **rentabilité écologique** qui prend en compte aussi bien les résultats agricoles et financiers que les retombées environnementales et sociales.

Ainsi, il est admis que la durabilité doit être appréciée dans ses dimensions écologiques, économiques, politiques. Trop souvent, la première était seule mise en avant, évaluée, étudiée et modélisée. Les conditions d'évolution des systèmes irrigués dans le Delta nous amènent à éviter de sous-estimer la place occupée par les deux autres dimensions et perceptibles dans de nombreux domaines : environnement du marché, politiques de soutien et de crédit, gestion du foncier rural, gouvernance institutionnelle...

L'approche de l'analyse de cette durabilité qui servira de fil conducteur à tout ce mémoire se fera sous deux angles complémentaires et de plus en plus indissociables :

- L'angle agro-écologique à travers l'approche conservatoire des écosystèmes qui abritent ces systèmes de production et donc la durabilité agricole et environnementale intrinsèquement liées.
- L'angle socio-politico-économique qui doit soutenir, accompagner et organiser le premier point cité à travers la gouvernance pour ensuite capitaliser durablement sur ses réussites à travers la notion la plus importante : **le développement durable des sociétés**.

II. PROBLEMATIQUE ET QUESTION PRINCIPALE

La zone du fleuve Sénégal concentre la plus grande partie des zones irrigables aménagées et aménageables à haut potentiel du Sénégal. La partie dévolue au Delta est supérieure à 50% sur environ 250 000 ha. L'amélioration des conditions hydrauliques et de la disponibilité en eau du fleuve Sénégal suite de la construction des barrages de Diama et de Manantali et de l'endiguement des rives du fleuve Sénégal constituent une forte opportunité pour l'irrigation (Merzoug, 2005). Mais l'efficacité hydraulique du barrage de Diama a conduit à un relèvement quasi-généralisé des niveaux de la nappe phréatique d'un mètre environ (Mietton, 1998) qui rend la question du drainage beaucoup plus importante. Il est à remarquer l'absence d'un système de drainage généralisé de l'ensemble du delta à cause des contraintes jusqu'ici notées sur l'application du Plan Directeur Rive Gauche et du schéma hydraulique du delta.

Sur un volume de 34 800 ha aménagés irrigables sous exploitation paysanne dans le delta, seuls 21 400 ha (cumul annuel des 2 campagnes) étaient exploités en 2013 du fait de la non disponibilité de l'eau ou de la mauvaise qualité du drainage (MCA Sénégal, 2015). Les déficiences des systèmes d'irrigation et de drainage constituent près de **70%** des contraintes de développement des périmètres irrigués, empêchent l'augmentation des rendements et

constituent à terme une menace pour le maintien du potentiel pédologique par rapport à deux facteurs principaux : la perméabilité et la salinité des sols (Thiaw et al, 2013).

La **question principale** qui se dégage est donc la suivante :

Quelles sont les pratiques d'irrigation et de gestion de l'eau qui sont les plus aptes à maîtriser et à atténuer les diverses contraintes dans le Delta pour une gestion durable de l'eau agricole et des sols ?

III. JUSTIFICATIFS

Cette étude trouve sa pertinence dans la nécessaire obligation de faire l'inventaire d'un processus d'aménagement qui dure depuis plus d'un siècle et a nécessité des investissements colossaux de plusieurs centaines de milliards de FCFA pour des résultats très mitigés.

Le projet de thèse se fonde d'abord sur la nécessité de reconsidérer la dynamique d'aménagement dans le delta du fleuve Sénégal, de faire ressortir les réussites et les échecs, les contraintes et les potentialités et ainsi aider à orienter les futures options techniques en tenant compte des réalités sociales, économiques et environnementales du moment. Ces propositions devront s'articuler autour de la maîtrise des contraintes d'exploitation agricole nées des conditions pédologiques historiques que sont la faible perméabilité des sols lourds et salés alluvionnaires, la trop grande perméabilité des sols sableux du Diéri et la salinité primaire puis secondaire des sols et des nappes. Il faut souligner ici qu'une irrigation mal conçue ou mal conduite peut conduire à une dégradation du sol et que dans beaucoup d'endroits du Monde l'agriculture irriguée comporte des risques écologiques. C'est ainsi que, d'après certains auteurs 500 000 ha de cultures irriguées sont rendus impropres à la culture, chaque année à travers le monde (Enda, 1986).

Le présent travail de recherche vise à apporter une contribution par des réponses claires pour des modes d'aménagement et d'exploitation agricole irriguée qui pourront nous permettre d'atteindre de façon durable la sécurité alimentaire.

Le deuxième aspect de la thèse réside dans sa contribution à la recherche de solutions techniques à la pratique intensive de l'irrigation dans le Delta en prenant souvent comme exemple la dynamique d'aménagement d'une exploitation agricole, celle de la Compagnie Sucrière sénégalaise (CSS) qui, grâce à son potentiel humain et financier, mène une mutation technologique sur son casier. Elle pourrait en faire bénéficier plus encore les populations riveraines (transfert de technologie) dans le cadre d'un partenariat privilégié en termes de gestion sociale de l'eau. C'est un modèle intéressant qui trouve sa pertinence du fait que les mêmes contraintes pédologiques du Delta se retrouvent dans sa SAU mais aussi parce qu'elles ont été prises en compte dès le début des aménagements (dimensionnement des réseaux d'irrigation et de drainage, coûts de l'entretien et du renouvellement des infrastructures, recherche/développement sur les pratiques hydro-agricoles).

L'irrigation sera donc appréhendée sous deux aspects différents : l'approche agro-industrielle avec une production à haute valeur ajoutée sur de grandes surfaces et avec un appui technique et financier réel en parallèle à une irrigation de type familiale par de petits producteurs isolés ou en association avec des moyens limités et un contexte de production et de commercialisation

difficile. Au final, ce travail aide à mieux appréhender le fonctionnement des systèmes irrigués dans la zone du delta où se trouve le plus important potentiel irrigué du Sénégal sur différents types de sols (sableux à lourd argileux) dans un contexte où ne s'opposent pas agriculture familiale et agro-industrie mais où elles cohabitent et jettent les bases d'un modèle de développement intégré et durable.

IV. OBJECTIFS ET HYPOTHESES DE DEPART

La limitation de la productivité des parcelles irriguées est souvent liée à des causes physiques identifiées (en plus d'autres causes climatiques, financières, et sociales). Les principaux freins à la productivité sont :

- la forte salinité des sols et des nappes et la faible drainabilité des sols ;
- des pratiques d'irrigation mal adaptées aux contraintes du sol ;
- la faible efficacité de l'utilisation de l'eau agricole ;
- une connaissance insuffisante des bilans hydriques à diverses échelles ;
- une gestion mal intégrée ou inadaptée au contexte socio-économique.

Ces thèmes ont retenu notre attention car ils constituent des contraintes identiques identifiées dans les périmètres de la CSS et des acteurs riverains et ils pourront donc faire l'objet d'une étude plus approfondie afin de donner des pistes de solutions sur des pratiques aptes à corriger les déficits techniques.

De la problématique découlent les quelques **hypothèses suivantes** :

- Les contraintes pédologiques du delta constituent la principale cause de faiblesse de la productivité de l'agriculture irriguée dans la zone ;
- Le cadre édaphique des sols actuellement disponibles du Diéri autour du lac (sols légers) et le climat sahélien en changement (besoins en eau plus importants et continus) conduisent à privilégier la mise en place d'une technologie d'irrigation moderne et plus maîtrisée.
- Des pratiques d'irrigation et de drainage maîtrisées et performantes sont aptes à corriger dans le temps les déficiences physiques et chimiques des sols du Delta.
- Un transfert de technologie et un partenariat entre des entreprises privées et des exploitations familiales à travers une GIRE sont possibles pour palier le déficit d'intervention de l'Etat dans le Delta.

V. METHODOLOGIE

Beaucoup d'hypothèses émises et de techniques annoncées sont en cours d'essais ou d'installation à la CSS, qui constitue notre principal terrain de recherche.

Une importante phase de bibliographie a été coordonnée avec beaucoup de structures ou programmes sur ces domaines : UCAD (EDEQUE), UGB, SAED, ISRA, CIRAD, CEMAGREF, JICA, MCA, CSS, OLAC, SOGED, ULg. Une partie a été consultée et référencée, une autre non référencée sera ajoutée pour approfondir le débat.

Un préalable sera donc de caractériser l'agriculture irriguée dans la zone du Delta avec la mise en évidence de plusieurs systèmes d'exploitation agricoles se différenciant en termes de contexte

agro-pédo-écologique, de système d'irrigation installé, de surface cultivée, de type de production et de niveau d'intensification. Cette typologie sera un atout pour orienter les choix de système d'irrigation afin de rationaliser, à terme, l'utilisation de l'eau à la parcelle.

Nous procéderons ensuite à l'identification, l'échantillonnage des sites d'études expérimentales afin de mettre en place des protocoles d'essais et des suivis hydrauliques et physico-chimiques. La mise en œuvre s'est déroulée sur les 2 premières années de la thèse.

Les principaux aspects qui ont fait l'objet d'analyse sont :

- le bilan de l'eau dans différents systèmes agricoles irrigués connectés à un même réseau d'irrigation ;
- l'efficacité du drainage mis en place sur un milieu maîtrisé, et qui conditionne, sur nos types de sols rencontrés, l'efficacité de l'irrigation de surface.

Une collaboration avec le Département Sciences et Gestion de l'Environnement de l'ULg et la CSS a permis d'approfondir l'analyse sur les deux aspects suivants :

- l'analyse de la qualité des irrigations à travers le logiciel *AquaCrop* sur les aspects de bilan hydrique et de calage des calendriers d'irrigation ;
- la modélisation d'une approche PPP (private public partnership) avec les producteurs riverains dans le cadre d'une GIRE à l'échelle du bassin de production des canaux principaux de la CSS avec l'utilisation comparative des données d'enquêtes et de la cartographie aérienne.

Nous avons analysé, corrigé, interprété les résultats obtenus afin de les présenter dans un document final rédigé durant sur les deux dernières années. Les résultats obtenus sont les suivants :

- **dans la 1^{ère} Partie (chapitres 1 à 5) :** élaboration d'un travail de synthèse bibliographique sur la pratique et l'évolution de l'irrigation-drainage dans le Delta du Fleuve Sénégal sur les 60 dernières années. Cette partie présente (i) une analyse de la dynamique d'aménagement hydro-agricole puis (ii) une analyse comparative de l'agriculture familiale irriguée et de l'agro-industrie (modèle CSS) qui évoluent en parallèle dans des secteurs différents, mais sont soumises aux mêmes contraintes climatiques, pédologiques et techniques. Elle se termine par des propositions d'investissements ciblés et cohérents avec les vrais besoins de la zone.
- **dans la 2^{ème} Partie (chapitres 6 à 8),** nous proposons des solutions possibles sur les pratiques d'irrigation plus efficaces et de drainage dans le delta. Cette partie met en exergue les gains obtenus à la CSS à travers des études poussées : amélioration de l'irrigation de surface grâce aux calendriers d'irrigation sous *AquaCrop*, restauration des sols salés par la pratique du lessivage, Nexus eau-aliment-énergie.
- **dans la 3^{ème} Partie (chapitres 9 et 10),** nous avons proposé les conditions d'un partenariat gagnant-gagnant entre tous ces modes de production à travers un modèle

opérationnel de GIRE à l'échelle de la zone sous influence CSS. Ce modèle devra faire le lien entre producteurs et sur la base d'une approche de gouvernance qui devra faire participer durablement les agro-industries à l'essor des systèmes de production à faible efficacité et vulnérables dans le Delta.

Première partie :

**ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET HISTORIQUE DE LA PRATIQUE DE
L'IRRIGATION DANS LE DELTA**

L'agriculture irriguée dans le Delta du fleuve Sénégal, à l'image de nos économies sous-développées, souffre de divers handicaps mais le plus flagrant est l'énorme retard technologique et la faible modernisation des installations hydro-agricoles. Cette situation joue beaucoup sur sa rentabilité et sa compétitivité et au final sur sa durabilité. A titre d'exemple, le taux de marge ou mark up rate (qui est utilisé souvent pour déterminer le ratio de rentabilité d'un produit ou d'un service) ne cesse d'augmenter dans les pays développés, à la différence de ce qui se passe dans nos pays moins développés. Depuis 1990, ce taux de marge a augmenté de 40% dans les grandes entreprises des pays « riches », contre 5% pour celles des pays émergents et « pauvres » (Jean Paul Betbeze, 2018). Cette analyse est largement valable si on compare la productivité des parcelles irriguées des pays du Nord et celles au Sud du Sahara.

L'aménagement hydro-agricole avec maîtrise totale de l'eau dans le Delta et la promotion de la riziculture font partie d'une stratégie nationale intégrée de développement économique amorcée juste après les indépendances. Ils répondent à une situation héritée de la colonisation marquée par une agriculture extravertie et largement orientée vers la filière arachidière et l'économie de rente. Le choix de la zone historique, nommée *Walo*, qui se confond avec le Delta répond à des critères clairs et d'autres plus subjectifs.

A-Raisons techniques : l'aménagement en premier lieu du Delta (par rapport aux autres zones de la Vallée du fleuve Sénégal) fut fait pour des raisons hydrologiques et économiques, surtout dans la situation initiale de non existence des barrages et de bonne pluviométrie des années 1950-1960 (crue importante). En amont du fleuve (haute et moyenne vallées), les risques d'inondation sont plus importants et donc les coûts de protection des terres par endiguements augmentent. De même le niveau de l'étiage (basses eaux) est plus bas par rapport aux terres irriguées en amont et donc les hauteurs de pompage nécessaires aux irrigations et donc les coûts d'aménagement et d'exploitation plus importants. Le Delta situé en aval bénéficie d'une situation plus favorable et a donc bénéficié le premier des aménagements hydro-agricoles (Enda, 1986).

B-Raisons politiques et sociologiques :

- Plusieurs bureaux d'Etudes français (CINAM et SERESA) ont été chargés en 1959 par le Sénégal d'analyser globalement les contraintes et les potentialités de développement du pays. Ils ont fortement insisté dans leurs conclusions sur une politique axée sur la réduction à la dépendance alimentaire du Sénégal vis-à-vis de l'extérieur. Ils ont mis en évidence la très forte réduction de la production vivrière face à l'option de la culture arachidière qui, conjuguée à la forte croissance urbaine, a alors engendré des importations massives de produits alimentaires surtout **le riz et le sucre** (on comprend donc l'option riziculture et canne à sucre). Depuis 1950, de nombreuses études agronomiques, hydrologiques et pédologiques à Richard Toll et dans la plus grande partie de vallée avec la MAS (Mission d'Aménagement du fleuve Sénégal) et d'autres structures de recherche, a permis de valider le choix de l'Etat sur un plus grand engagement dans cette filière alimentaire. Pourtant tous les aspects techniques ne furent pas pris compte car certains chercheurs ont demandé à

aménager en priorité les terres du Fouta (moyenne vallée) jugées à juste titre moins salées.

- Des groupes de pression issus de diverses classes dans la région Nord (Politiciens issus de Saint Louis et du Fouta, haut fonctionnaires, société civile, Chambre de commerce, ...) ont montré leur mécontentement depuis le transfert de la capitale de Saint Louis vers Dakar. Ils ont alors plaidé du marasme économique qui guette la région du Fleuve (actuelles régions de Saint Louis et de Matam). Le gouvernement, soucieux d'éviter des conflits et une instabilité politique dans la zone, a fortement œuvré pour créer autour de la ville de Saint Louis une région économiquement viable. L'Etat « *en compensation au transfert de la capitale...promit de lancer un programme ambitieux de développement régional et de rénover Saint Louis* ». Plus que la construction du lycée Charles De Gaulle, la rénovation de l'hôpital et le bitumage de la route Dakar-Saint Louis, ce fut surtout l'utilisation de son potentiel agricole jugé important pour la riziculture irriguée (d'après les nombreuses études) qui devra servir de locomotive au développement pour cette région (Enda, 1986).
- Le choix de l'aménagement de la Vallée obéit aussi à une politique de diversification des zones de production avec déjà une intensification de la culture arachidière dans les zones Centre et Ouest et ainsi favoriser un développement équilibré et intégré entre régions naturelles selon les vœux socialistes des dirigeants de l'époque (Senghor et Dia).
- L'option de travailler directement dans les aménagements hydro-agricoles en exploitation paysanne découle de l'étude des échecs du casier de Richard Toll où le projet de l'ORTAL puis de la SDRS (Société de Développement Rizicole du Sénégal) travaillait en régie avec des coûts de production élevés et une forte mécanisation sur 6000 ha. Les résultats du colonat de Richard Toll juste à côté des paysans installés (2,5 T/ha contre 1,5 T/ha pour la SDRS) ont convaincu les autorités que ceux-ci pouvaient atteindre d'excellents résultats s'ils étaient bien encadrés. La vision socialiste et marxiste (socialisme panafricain des indépendances) de l'époque cadre aussi plus avec l'approche de producteurs associés en coopérative que celle d'ouvriers agricoles rémunérés dans le casier de Richard Toll.
- Enfin des centaines d'études dans le Delta ont, depuis les années 1960, tenté de cerner les contextes physiques et hydrologiques et les potentialités agronomiques et pédologiques de la zone. Financées ou réalisées par des sources extérieures et surtout françaises (dont la SATEC, organisme technique d'appui français), elles ont servi ainsi à « influencer » les autorités sénégalaises sur la politique à mettre en œuvre avec des choix scientifiques et techniques agricoles sur la riziculture irriguée dans cette zone. Les bailleurs de fonds associaient aussi à leur financement des conditionnalités comme l'octroi des études de faisabilité, d'expertise et de formation à leurs propres structures nationales.
- Au sein même du Delta, un choix fut opéré avec la SAED sur les zones d'aménagement prioritaires avec valorisation de certains défluent comme adducteurs et d'autres comme émissaires de drainage naturel au profit ou au détriment des habitants concernés. Dia (2012) souligne que le faible peuplement par des minorités ethniques, croisé à des héritages politiques encore vivaces, constitue

un argument sociologique décisif dans les choix d'aménagement. Il explique que le Gorom-Lampsar (largement aménagé en priorité) est un espace assez densément peuplé de Wolofs, détenteurs pendant longtemps du pouvoir politique, dans le cadre du royaume traditionnel du Walo. A cela s'ajoute le fait que malgré une réforme foncière qui théoriquement rendait la tenure traditionnelle des sols caduque dans les faits, le système foncier traditionnel est resté vivace. L'État ne pouvait se lancer dans un programme d'aménagement pour lequel la terre est le capital le plus important, sans l'adhésion des dignitaires et notables traditionnels. La concentration de la mise en valeur autour du Gorom-Lampsar est une forme de compensation destinée à s'attacher le soutien des descendants des *lamanes*. Dia note toujours qu'à l'opposé, le Djeuss est un espace faiblement peuplé par des Peuls et Maures, populations qui n'ont pas dans le Walo un ancrage historique comparable à celui des Wolofs. Sans influence politique notoire et sans patrimoine foncier, leur activité dominante, l'élevage, a été le prétexte idéal pour, d'abord ne pas bonifier le Djeuss au même titre que le Gorom-Lampsar et d'en faire ensuite l'éponge du Delta. Si nous pouvons ne pas être totalement d'accord avec lui (car le réseau hydrologique naturel fait que le Gorom précède le Djeuss dans le sens de l'écoulement des eaux et ne peut donc pas techniquement servir d'exutoire), sa remarque concernant la prise en compte des valeurs et pesanteurs sociétales dans les prises de décisions politiques est largement fondé et jusqu'à présent d'actualité.

Le choix d'aménagement de la vallée du fleuve et surtout de zones à faible peuplement autochtone du Delta et de la pratique de la riziculture irriguée avec des sommes énormes allouées à celle-ci, sans aucune garantie de rentabilité, découlent d'un compromis scientifique, politique et sociologique entre les intérêts de divers acteurs qui ont eu tous à œuvrer pour une mise en valeur rapide du potentiel hydro-agricole de la zone.

L'analyse proposée dans cette partie a permis de mieux comprendre comment une activité qui était censé régler en grande partie le déficit alimentaire national et même sous régional se retrouve un siècle plus tard dans un contexte très difficile avec la non atteinte de la quasi-totalité de ses objectifs. Certes l'irrigation occupe actuellement 8% des terres cultivées au Sénégal contre 2% en 2006 (Faye et al, 2007) grâce au Delta du Fleuve (et la vallée de l'Anambé) mais force est de constater que les résultats physiques, techniques, économiques et sociaux sont insuffisants pour une zone qui concentre 50% du potentiel estimé à 500 000 ha irrigables avec presque toutes les eaux de surfaces au Sénégal (Dia, 2005). Pourtant, l'irrigation de la Vallée du fleuve a utilisé entre 1986 et 1989, 46% du total du budget d'investissement agricole au Sénégal (Woodhouse et al, 1991) et de 1986 à 2006, l'agriculture sur aménagements hydro-agricoles a utilisé 60% des investissements publics alloués au secteur agricole. Dans le cadre de la mise en place des politiques publiques de développement, il est donc perçu et attendu comme le moteur de l'économie rurale et à terme, nationale (PSE/PRACAS Cf. annexe 2).

CHAPITRE 1 : Analyse Physique et des systèmes de production dans le Delta

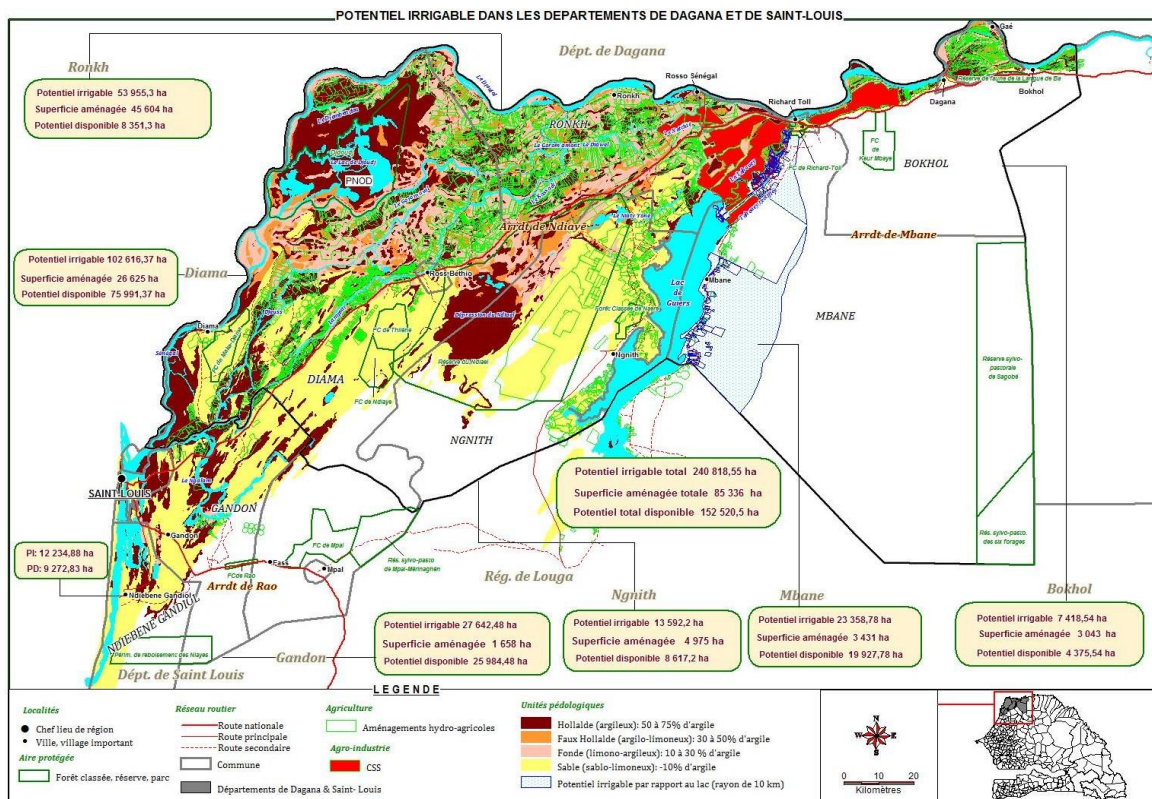
I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : ZONAGE, CLIMAT ET RESEAU HYDROLOGIQUE

La zone du Delta du Bassin du fleuve Sénégal (Rive Gauche) est un territoire d'environ 5000 km² qui s'étend de Dagana à Saint Louis (120 km) et du fleuve au Lac de Guiers (Carte 1). Elle matérialise l'espace physique sous l'emprise de la partie aval du Fleuve Sénégal long de 1790 km et qui prend sa source en Guinée dans les massifs du Fouta Djallon. Elle est marquée par une histoire hydrologique et hydrogéologique multiséculaire marquée d'abord par les crues et décrues (Michel, 1973) qui ont façonné des nappes et surtout des sols variables et contrastés (environ une dizaine de types, de l'argile lourde au sable de dune) dont la plupart sont marqués surtout par une salinité résiduelle due aux phénomènes d'intrusion marine durant les périodes de basses eaux. Plusieurs organismes et chercheurs ont, depuis les années 1950, largement contribué à une meilleure connaissance des phénomènes hydrogéologiques, pédologiques, climatologiques et biophysiques des transformations du milieu sahélien du Delta du fleuve avant et surtout à la suite des sécheresses et de la mise en service des barrages : ORSTOM, OMVS, IRAT, MAS, Michel (1957, 1968, 1973), les projets Campus (1993), Equesen (1989), Gestion de l'eau du CIRAD (1998), SAED-KU Leuven (années 1990).

I.1. Végétation

La Vallée du Fleuve a subi une dégradation rapide et poussée au début des années 1990 marquée par une perte de 80% du couvert végétal naturel et de la baisse de moitié des activités animales à la surface du sol (Projet Campus, 1993). La végétation actuelle se caractérise par des espèces halophiles telles que le *Tamarin Senegalensis* et la forêt inondable de Gonakiers qui a beaucoup souffert des années sèches (*Acacia Nilotica*). Dans le delta, la mangrove à *Avicennia* et *Rhizophora* représente l'écosystème littoral adapté à l'eau saumâtre. Les hautes terres du "Diéri" bordant le lit majeur du fleuve portent une végétation de type arbustive à arborée dominée par *Acacia Sénégal* et *Acacia Tortilis* (Faye, 2005).

Les barrages construits entre 1984 et 1988 sont venu arrêter net ce gros handicap naturel qu'était l'intrusion d'eau marine pour cependant laisser apparaître d'autres phénomènes biochimiques et biologiques non moins dangereux : l'eutrophisation des plans d'eau et la prolifération des végétaux aquatiques (Kane, 1997 ; Mietton et al, 2005). La laitue d'eau (*Pistia stratiotes*), la fougère d'eau (*Salvinia molesta*) introduit accidentellement puis le *Typha Australis* et le *Ceratophyllum Demersum* (espèces aquatiques) ont constitué ou constituent de grosses contraintes dans cette zone à la pratique de l'irrigation. Un projet de lutte biologique avec la carpe chinoise a été initié par la CSS en 2001.



Carte 1 : Caractérisation des sols de la zone, du potentiel irrigable et de la zone CSS (Brouwers, 1994)

L'équipe pluridisciplinaire et internationale du projet CAMPUS (1989-1992) et surtout Kane (1997) dans sa dernière thèse ont largement étudié l'évolution négative de cette zone sous aménagement du fait de la forte influence du barrage de Diama (processus de stockage et de décantation des sédiments), de l'action des vents cause d'une forte érosion éolienne, de la sédimentation et du développement des végétaux aquatiques dans les axes hydrauliques et les canaux d'irrigation, perturbant fortement le fonctionnement, la pérennité et la durabilité des aménagements hydrauliques du moyen Delta. Ces phénomènes associés à la salinisation sous irrigation intensive ont fortement accéléré la dégradation des périmètres sommaires, les PIV (Périmètres Irrigués Villageois) avec comme corollaire un taux important d'abandon de surfaces agricoles cultivées entre 1990 et 2010 (50% environ).

I.2. Zonage administratif de l'agriculture irriguée du Delta

Le découpage géographique épouse celui de la SAED (Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du Fleuve Sénégal et des Vallées de la Falémé et du Fleuve Sénégal). Il s'étale sur une zone allant de Saint Louis à Dagana et sur les communautés rurales situées après le Lac de Guiers. Ce découpage représente les zones de périmètres aménagées uniquement par ou avec la SAED (Tableau 1) dans le cadre de la promotion de l'agriculture irriguée villageoise des populations rurales et donc à compléter avec les périmètres irrigués des agro-industries de plus en plus nombreuses.

Tableau 1 : Découpage administratif de la zone du Delta selon le suivi de la SAED

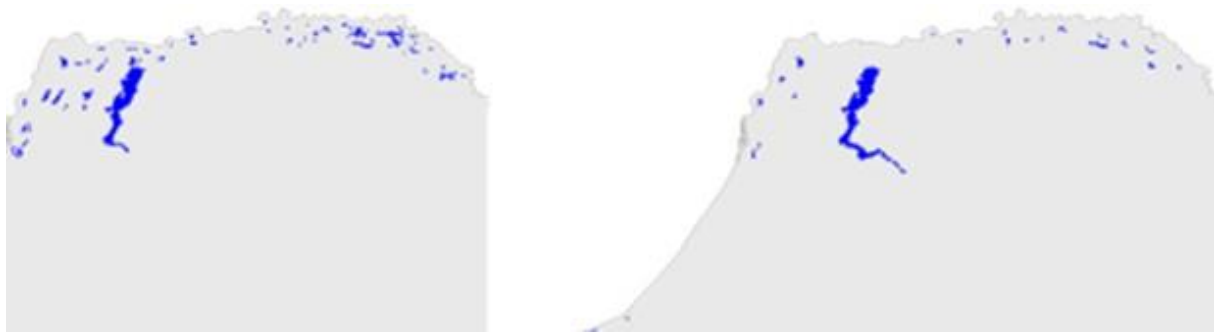
Région	Département	Délégation	Secteur	Zone
				AHAT & privés Tiguet
				AHAT pt gend thilène
	Dagana	Dagana	Bas Delta	AHANT rive g. lampsar
	Saint Louis			AHANT rive d. Lampsar
				AHA privés Bas Delta
				AHA & privés Débi
				AHAT Kassack N&S
				AHANT g. digue tellel (G)
				AHA privés centre nord
			Delta Central	AHA privés centre sud
				AHAT Boudoum_Est
				AHAT Boudoum_Sud
SAINT- LOUIS	Dagana	Dagana		AHAT Boudoum_Nord
				AHANT g. digue Tellel (T)
				AHAT Thiagar
			Haut Delta	AHAT rive Mbagam Rosso
				AHA privés djeuleus
				AHAT Ndombo Thiago
				AHAT Dagana a et c
				AHAT Dagana b
			Dagana	AHAT dieurba a3
				AHA privés Dagana
				Colonnat Nder
SAINT- LOUIS, LOUGA	Dagana, Louga	Dagana	Lac de Guiers	Nder Mbayène
				Mbane

I.3. Réseau hydrologique

Le réseau hydrologique du Delta reste dense par rapport au reste du Sénégal mais a subi ces dernières décennies une baisse drastique due aux conditions climatiques défavorables (Carte 2).

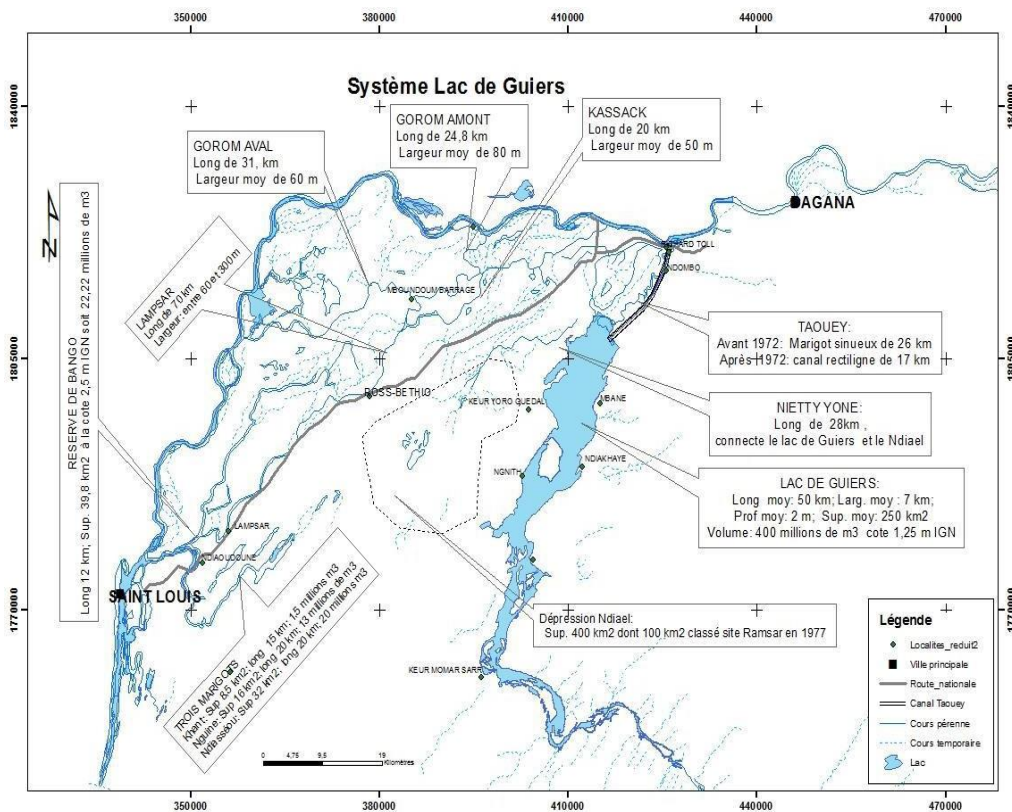
L'amélioration des conditions hydrauliques et de la disponibilité en eau (partie aval du fleuve, défluent et marigots, lac de Guiers) fait suite de la construction des barrages de Diama et de Manantali et de l'endiguement des rives du fleuve Sénégal et constitue une forte opportunité pour l'irrigation avec une régulation annuelle des plans d'eau (OMVS, 2015).

Au niveau du lac de Guiers, la rectification de la Taouey et les endiguements ont doublé sa capacité d'alimentation portée à 1,2 millions m³/jour (SAED, 2009). Mais l'efficacité hydraulique du barrage de Diama a aussi conduit à un relèvement quasi-généralisé des niveaux de la nappe phréatique (+ 1 mètre depuis 1988) qui rend la question du drainage beaucoup plus importante. Il est à remarquer l'absence d'un système de drainage généralisé de l'ensemble du delta à cause des contraintes jusqu'ici notées à l'application du Plan Directeur Rive Gauche et du schéma hydraulique (Cissé, 2011, Diop, 2017).



Carte 2 : Visualisation du réseau hydrologique de surface de (a) janvier 1968 à (b) novembre 1992 (FAO/CSE, 2003)

Globalement, le réseau hydrologique est très dense avec une multitude de défluent qui alimentent à partir du Fleuve les périmètres agricoles et les plans d'eau douces dont le plus important est le Lac de Guiers (Carte 3). Le potentiel en eau de surface du fleuve est d'environ 18 milliards de m³/an dont environ 5 milliards sont effectivement utilisés actuellement avec des hypothèses maximalistes de consommation d'environ 6,7 milliards de m³/an en 2025 (OMVS, 2015). La capacité de stockage en eau du Lac de Guiers est, elle estimée autour 600 millions de m³. Sur un rayon de 5 km, le potentiel aménageable autour du Lac est estimé par la SAED à plus de 47.000 hectares, et à 10 km, il est évalué à plus de 90.000 ha (Diallo, 2018).



Carte 3 : Système hydrologique du Delta (OLAC, 2015)

Les nombreux défluent alimentent l'ensemble du Delta pour tous les besoins des populations. Avant la mise en service des barrages et son artificialisation, le Delta était constitué de défluent et de marigots dont les régimes hydrauliques dépendaient totalement du fleuve Sénégal. Les défluent les plus importants par leur longueur sont appelés axes hydrauliques et constituent les principales sources des casiers agricoles. Les principaux étaient alors le Gorom (60 km) le Lampsar (70 km), le Djeuss, le Kassak, et le NGalam. Les principaux adducteurs sont le Gorom et le Lampsar qui totalisent 20 390 ha soit 71,6 % de la superficie irriguée. Quant au Kassak, au Diawel et au NGalam, ensemble, ils ne totalisent que 7 900 ha, soit moins de 30 % de la superficie irriguée (Base de données SAED, Délégation de Dagana, 2010).

I.4. Température et pluviométrie

Le climat de la zone du Delta est très complexe car elle est située dans une zone sèche sahélienne mais sous influence océanique marquée par les alizées marines surtout dans le Bas Delta. A l'échelle de toute la zone sahélienne, le projet AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analyse) a étudié la dynamique de la pluviométrie et Agrhymet, le centre spécialisé du CILSS à Niamey contribue à une meilleure connaissance du climat de la sous-région.

Ainsi, avec un rapport Pluviométrie/ETP se situant entre 0.09 et 0.63, le Sénégal est classé dans le domaine des terres arides et semi-arides. La variabilité saisonnière, la hausse des températures moyennes et des amplitudes thermiques, la baisse et l'irrégularité des précipitations caractérisent ainsi cette zone de Saint Louis à Dagana. Globalement, la conjugaison des facteurs pluviométrie et température permet de caractériser trois grandes saisons (Figure 3) :

1. Une saison sèche fraîche qui va de début décembre à fin février avec des températures moyennes mensuelles comprises entre 22,3 et 24,3°C et une très forte amplitude thermique caractéristique de cette période.
2. Une saison sèche chaude allant de mars à fin mai avec des températures moyennes mensuelles élevées avec des valeurs comprises entre 27,6 et 30,5°C. On note souvent en Avril des maxima journaliers absolus de plus de 45°C lors des coups de vent d'harmattan (vent d'Est chaud et sec) et des échaudages physiologiques peuvent alors se produire comme il est possible de l'observer sur la canne à sucre, même très bien irriguée.
3. Une saison chaude et humide appelée saison des pluies allant de juin à novembre mais les plus fortes pluies sont enregistrées entre août et septembre avec respectivement des valeurs moyennes de 132 mm et 96 mm. Les autres mois restent largement déficitaires et le cumul moyen navigue entre 200 et 300 mm/an. Cette saison pluvieuse est marquée par des températures moyennes élevées avec des valeurs pouvant aller jusqu'à plus de 30 °C et une forte hygrométrie.

La faible pluviosité est le premier facteur qui explique et légitime la pratique de l'irrigation dans le Delta (Sall, 2005). Les deux autres facteurs climatiques fondamentaux pour comprendre l'intérêt de l'agriculture irriguée sont la forte demande évaporative et l'ensoleillement.

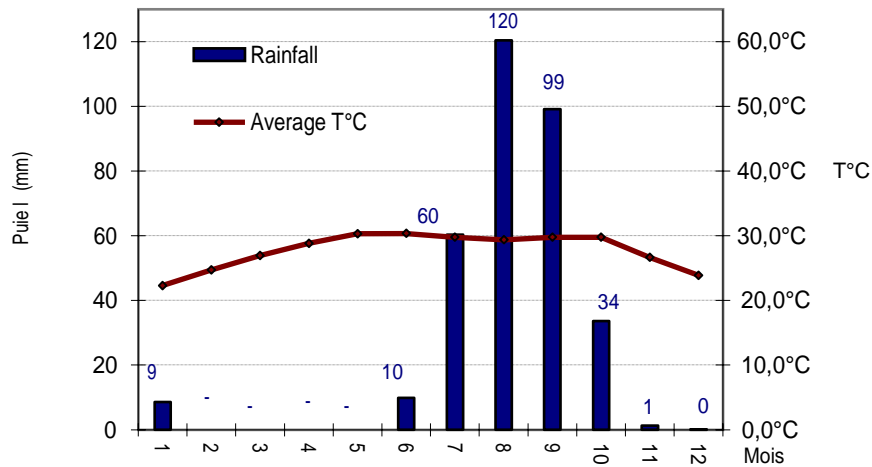


Figure 3 : Diagramme ombrothermique moyen du périmètre de la CSS

I.5. Evaporation et Ensoleillement

La demande évaporative liée au climat évaluée dans la zone par la méthode dite de l'évaporation (EvBac) permet de calculer les besoins en eaux des plantes, comme cela a été défini plus haut (Cadre théorique de l'étude dans le Delta : les principaux concepts).

L'ensoleillement exprimé par le rayonnement solaire et la durée d'ensoleillement journalière permet la photosynthèse chlorophyllienne nécessaire à la croissance des plantes. L'ETP (aussi appelée ETo, évapotranspiration de référence) est l'évaporation d'un gazon ras couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue (Perrier, 1999). C'est une caractéristique climatique dépendant de données météorologiques, donc de facteurs physiques. Plusieurs méthodes de détermination existent : Blaney Criddle, Thornthwaite, Turc, Penman, EvBac. La formule de Penman est la plus utilisée pour calculer l'ETP au pas de temps décadaire, car la mieux adaptée pour simuler, à ce pas de temps, l'évapotranspiration d'un gazon irrigué. Pour un pas de temps journalier, la formule de Penman-Monteith qui ajuste la première par rapport aux conditions de turbulence dues au vent est préférable. La formule à base de l'évaporation de Bac classe A (Evbac) est celle utilisée la plupart du temps dans le Delta. Elle utilise les valeurs moyennes de l'EvBac issues des valeurs journalières récoltées dans les stations météorologiques des exploitations agricoles. Ces données sont multipliées par des coefficients de correction pour obtenir les valeurs de la formule de Penman-Monteith à partir du Bac (en moyenne 0,78 pour la saison des pluies et 0,65 pendant la saison sèche).

Il est cependant estimé que l'ETP annuelle calculée à la CSS est inférieure de 15% à l'ETP annuelle Penman pour la station de Rosso (20 Km de Richard Toll) par Agrhymet et selon les données FAO (Legoupil et al, 1995). Elle affiche un cumul annuel de 2198 mm suivant la méthode Bac utilisée à la CSS (Figure 4) et de 2498 mm selon Penman. La différence observée laisse à penser que les coefficients utilisés doivent être recalculés ou précisés. En effet, il semble probable qu'à 20 km de distance entre les 2 bacs, l'ETP n'est pas trop différente. Au niveau mensuel ou décadaire, pas de temps utilisé pour le pilotage des irrigations, les variations sont importantes et la précision des recommandations s'en trouvent influencée (Sall, 2005).



Figure 4 : Moyenne Evapo bac journalière en mm/j site CSS

Le cumul annuel moyen de l'ensoleillement est de plus de 3 000 heures dans le Delta (station météo CSS). C'est un indicateur clair d'une forte demande climatique en eau mais aussi et surtout d'un excellent potentiel climatique de production des cultures dans cette zone surtout pour les plantes en C4 (canne à sucre, maïs...).

L'érosion éolienne est une résultante du climat aride qui sévit particulièrement dans la zone sud du Delta où les sols sont très sableux en surface et soumis à l'harmattan durant 7 à 9 mois, vent chaud et sec qui accélère leur dessiccation et provoque la remise en marche des sables lorsque la vitesse du vent est supérieure à 4 m/s ce qui est souvent fréquent.

Globalement, les changements climatiques ont un impact sur la pluviométrie dans le Sahel. Il y a ainsi une baisse prononcée de 15 à 25 % de 1968 à 1995 (Hulme, 2001) et une instabilité chronique ces 23 dernières années. A travers le livre de Sultan et al (2015) nous retrouvons une bonne synthèse de l'évolution du climat et ses conséquences actuelles et futures sur les milieux et les sociétés en Afrique de l'Ouest. Une partie des chapitres est consacrée, au moins partiellement, au Sénégal. Ce contexte climatique demeure une équation de base car il impacte automatiquement sur les aménagements hydro-agricoles depuis leur conception et dimensionnement jusqu'à leur utilisation dans la pratique quotidienne de l'irrigation (Cf. 2eme Partie) à travers les besoins en eau des cultures et le bilan hydrique.

Ce climat de la zone d'étude est actuellement marqué par (i) une forte variabilité intra et inter saisonnière, (ii) une imprévisibilité. Ce sont des facteurs aggravants de la situation de fragilité dans laquelle se situe déjà bon nombre d'exploitations agricoles irriguées. Comme exemple nous pouvons citer :

- Le calage difficile d'une deuxième culture de riz annuelle (en situation de double-culture) lié à des risques de pluie avant la récolte (retard de récolte) et donc des pertes potentielles en cas de retard dans la récolte
- Le fait que de trop fortes températures à un moment donné peuvent perturber la germination de certaines cultures (maraichères surtout) et réduire les rendements agricoles.

Le réseau de mesure, de collecte, de traitements et de distribution de ces données climatologiques n'est pas encore assez efficace dans la zone du Delta (BM, 2016). Pourtant la zone dispose d'une certaine expérience dans ce domaine et de structures de recherche qui collectent des données depuis plus de 50 ans (SAED, CSS, OMVS, ISRA...) ou nouvellement présentes (DGPRE, ANACIM, Africa Rice, OLAC). Tous les acteurs n'ont pas accès à temps à des données ou informations climatiques et ne peuvent pas raisonner régulièrement leurs pratiques d'irrigation sur des bases scientifiques fiables.

II. DYNAMIQUE DES SOLS DE LA ZONE

Les terres arables du Sénégal représentent seulement 19% de la superficie totale du pays, soit 3.8 millions d'hectares (Tableau 2). Ces terres sont inégalement réparties dans les zones éco-géographiques avec seulement 8% pour l'ensemble la vallée du Fleuve Sénégal (FAO/CSE, 2003). La zone du fleuve Sénégal concentre la plus grande partie des zones irrigables aménagées et aménageables à haut potentiel et évaluées par la FAO à plus de 300 000 ha. La partie dévolue au Delta est supérieure à 50%.

Tableau 2 : Répartition nationale des terres et leur vocation (Source : FAO/CSE, 2003)

Surface (X1000 ha)	Casamance	Sénégal Oriental	Bassin arachidier	Zone Sylvo Pastorale	Fleuve Sénégal	Niayes	Total
Cultures pluviales	297.8	161.5	1 748.9	107.8	40.0	17.2	2 373.2
Cultures irriguées	1.2	0.8	0.6	-	60.0	6.4	69
Cultures de décrue	-	-	-	-	30.0	-	30.0
Terres cultivées	299	162.3	1749.5	107.8	130	23.6	2472.2
Terres non cultivées	451.5	237.7	419.2	42.2	170.0	12.6	1 333.2
Terres cultivables	750.0	400.0	2 168.7	150.0	300.0	36.2	3 804.9
% du total national	20%	10%	57%	4%	8%	1%	100%

Bien que plus de cinquante unités pédologiques aient été décrites dans la légende de la Carte pédologique du Sénégal au 1/1000 000 par l'IRD Ex ORSTOM en 1980, une simplification liée à plusieurs études menées au Sénégal et validée par le modèle de la BRM (Base de Référence Mondiale) de la FAO permet d'en ressortir 12 principaux types (Tableau 3).

Tableau 3 : Principaux types de sols su Sénégal (Khouma, 2000)

Type de sol	% Sénégal
Les sols minéraux bruts de cuirasse sur schiste	2,4
Les sols minéraux bruts de cuirasse sur grés argileux	8,1
Les sols gravillonnaires sur cuirasse	11,6
Les sols brun-rouge subarides sur sable	14,2
Les sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés sur sable	20
Les sols ferrugineux tropicaux lessivés sur rés de sablo-argileux	17,2
Les sols ferrugineux tropicaux lessivés cuirassés sur schiste	12,4
Les sols faiblement ferralitiques sur grés sablo-argileux	6,2
Les sols halomorphes sur alluvions argileuses	1,9
Les sols hydromorphes sur argile de décantation	0,2
Les sols hydromorphes sur argile	3,3
Les sols sulfatés acides sur sable	2,5

Pierre Michel (1973) puis Brouwners (1995) ont bien décrits les sols de la Vallée du fleuve Sénégal à travers plusieurs études et projets sur la dynamique pédologique dans le Delta. Les sols du Delta sont la résultante de plusieurs phénomènes hydro-climatiques millénaires qui se sont juxtaposés ou qui se sont succédés :

- Sables dunaires issus de formation géologiques du quaternaire et totalement isolés de par leur altitude des inondations récurrentes du fleuve (Photo 1a).
- Alluvions et dépôts provenant des crues régulières du fleuve et laissant une croûte argileuse ou limono-argileuse variable sur des zones dunaires régulièrement inondées (Photo 1b).
- Intrusion marine lors des décrues et dépôts salins sur ces alluvions et leurs nappes impactant largement le milieu deltaïque.

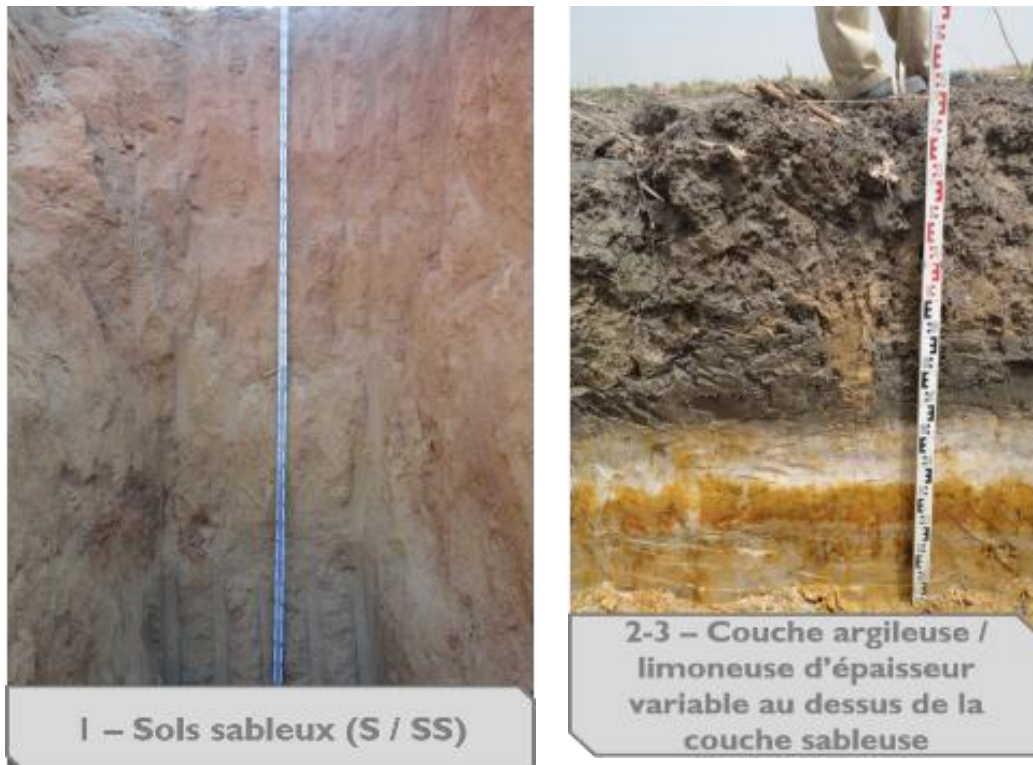


Photo 1 a et b : Coupe transversale des deux principaux types de sol dans le Delta (Sall, 2010)

Ces événements ont façonné durablement les sols de la Vallée et plus particulièrement du Delta avec des conséquences agroécologiques encore visibles. On retrouve une couche d'argile de décantation d'épaisseur variable entre 0.3 et 1.0 m selon la position de la zone par rapport au lit du fleuve (intensité de dépôts alluvionnaires) et qui se trouve au-dessus d'une couche de sable. L'argile de surface est très souvent un matériau peu perméable, mal drainant et difficile à travailler (Raes et al, 1991).

Les conséquences pédologiques qui en résultent sont donc cette forte variabilité de structure et de texture de ces sols que résume le tableau 4.

Tableau 4 : Principaux types de sols du Delta (SAED, 2011)

Pulaar (Local)	Méthode ORSTOM	Méthode FAO
Hollaldé : 36% du potentiel irrigable - contiennent 50 à 75% d'argile (sont argileux) - mauvais drainage - favorables à riziculture - structure prismatique à sols sans structure - supportent la submersion - sont très difficiles à travailler aussi bien en sec qu'en humide	Vertisol et paravertisols / Vertisols topomorphes non grumosoliques	Chromic vertisols
	Hydromorphes / Gley de surface et d'ensemble	Eutric Gleysols
Faux-Hollaldé : 31% du potentiel irrigable contiennent 30 à 50% d'argile - mauvais drainage - sols sans structure favorable à la riziculture et autres cultures	Vertisol et paravertisols / Vertisols topomorphes non grumosoliques	Chromic vertisols
	Hydromorphe / pseudogley à taches et Concrétions	
	Peu évolué / d'apport hydromorphe	Eutric Fluvisols
Fondé : 33% du potentiel irrigable - teneur en argile de 10 à 30% (sont limoneux) - drainage moyen - structure cuboïde - favorables à toutes cultures autres que le riz - sols filtrants.	Peu évolué / d'apport hydromorphe	Eutric Fluvisols
	Hydromorphe / pseudogley à taches et Concrétions	Eutric Fluvisols
Diéri : contiennent 80 à 90% de sable (sols sablonneux) - Structure monogranulaire - supportent toutes les cultures autres que le riz.	Sols isohumics / brun rouge subaride	Haplic xenosols
	Minéral brut / d'apport éolien	Eutric regosols
	Minéral brut / d'apport fluviale	Eutric Fluvisols

Cette variabilité est un facteur de différenciation stricte des techniques et pratiques d'irrigation car l'alimentation en eau de la plante est alors vécue différemment sur au moins deux aspects qui influencent le Bilan Hydrique :

- ✓ Les sols plus lourds (Hollaldé, Faux Hollaldé, Fondé) ont une plus grosse capacité de rétention en eau et donc une plus grande réserve utile ce qui leur permet de stocker l'eau (après une pluie ou une irrigation) plus longtemps et de la restituer à la plante sur plusieurs jours. Les systèmes d'irrigation adaptés à ces sols sont donc les systèmes de surface (raie, submersion, rigoles) et l'irrigation par aspersion (rampes, asperseurs, pivots).
- ✓ Les sols légers très sableux à moyennement sableux (Diéri) ont une si faible capacité de rétention en eau que leur Réserve Utile est trop petite et donc est plus adapté à des apports en eau de petites quantités et souvent répétés. Les systèmes d'irrigation qui s'y prêtent le mieux sont soit le système manuel (avec arrosoirs), soit le système localisé ou micro irrigation moderne.

Les sols alluvionnaires aux abords des plans d'eau sont très difficiles à travailler (Photo 2a) et nécessitent des aménagements supplémentaires (labour, drainage) pour être mis en valeur avec

du riz alors que les sols légers et sableux du Diéri sont plus simples à travailler (Photo 2b) et plus aptes aux cultures maraichères.



Photo 2 : Les principaux types de sol du Delta : (a) lourd en labour et (b) léger sous irrigation localisée (Sall, 2015)

III. PRESENTATION DES PRINCIPAUX SYSTEMES DE PRODUCTION HYDRO-AGRIcoles IDENTIFIES

Le Sénégal est marqué par un contraste pédoclimatique qui permet de distinguer plusieurs zones agro-écologiques mises en valeur de manières différentes selon leurs potentialités. Le zonage des régions agricoles du pays est issu du plan stratégique de l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agricole) 1998-2003 et met en évidence 8 zones et types de systèmes agricoles.

III.1. Typologie de l'ISRA (1998-2003)

Durant plusieurs années à la suite des séries de sécheresse, l'ISRA a travaillé (avec l'IRD) sur la typologie et l'évolution des ménages et exploitations agricoles à travers tout le Sénégal. Au-delà de la forte différence entre types surtout liés aux zones agro-écologiques et aux potentiels de chacune d'elles (Tableau 5), le constat commun est surtout la dislocation des ménages ruraux et donc la multiplication de micro exploitations agricoles familiales. La surface cultivée moyenne par ménage rural est passée de 1 ha en 1968 à 0.5 ha en 1995 (FAO/CSE, 2003). Cette situation représente le fait le plus remarquable et le plus inquiétant concernant les structures de production agricole (Faye et al, 2007).

**Tableau 5 : Typologie des zones agro-écologiques et des systèmes de production au Sénégal
(Faye et al, 2007)**

N°	Nom du système	Localisation	Principales activités
1	Systèmes nord sahéliens à pastoralisme dominant	Ferlo et fleuve du Sénégal	Elevage extensif mobile
2	Systèmes agropastoraux sahéliens à agriculture sèche	Bassin arachidier sec Thiès, Diourbel, Louga et Nord des régions de Fatick et Kaolack	Pastoralisme et système à prédominance céréalière
3	Systèmes agropastoraux sahéliens à agriculture humide	Sud humide du Bassin arachidier : Fatick Kaolack	Intégration élevage intensif-agriculture
4	Systèmes irrigués	Vallée et delta du fleuve Sénégal, Basse et moyenne Casamance	Systèmes agricoles intensifiés riz, maraichage plus élevage et agro-industrie
5	Systèmes agropastoraux soudaniens	Tambacounda, Kolda Ziguinchor	Cotonnier, association agriculture-élevage, agroforesterie
6	Systèmes agricoles horticoles	Les Niayes	Systèmes très diversifiés associant maraichages, céréales, fruits, élevage intensif
7	Systèmes péri-urbains	Autour des principales villes	Exploitations spécialisées dans l'élevage avicole ou laitier, le maraichage et les fruits
8	Systèmes halieutiques	Zones côtières, lagunaires et fluviales	Pêche continentale et aquaculture

III.2. Typologie des systèmes irrigués sahéliens selon l'ARID (2004)

La caractéristique première des systèmes irrigués est qu'ils sont tous à base de cultures irriguées (spécialisées ou diversifiées) d'abord, associées ou non à de la polyculture pluviale (en hivernage) et/ou de décrue. L'Association Régionale de l'Irrigation et du Drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre (ARID) a proposé en 2004 une typologie simplifiée des exploitations agricoles irriguées en zone sahélienne pour les 5 pays concernés (Niger, Sénégal, Mali, Mauritanie, Burkina Faso). Elle a une approche combinatoire de quelques critères tels les niveaux d'investissements et de gestion, la maîtrise de l'eau, la taille pour sortir neuf (9) types (Tableau 6).

Tableau 6 : Typologie des systèmes irrigués selon l'ARID (2004) in Barbier et al (Cahiers agricoles, Vol 20, N°8, 2011)

Type de système	Caractéristiques générales
Périmètre irrigué public grand ou moyen	Superficie de plus de 100 hectares, irrigués depuis une ressource abondante (fleuve, retenue, lac), par pompage ou dérivation. Réseau de surface, riziculture dominante, avec petit espaces de diversification
Périmètre irrigué villageois public	Quelques dizaines d'hectares, attribués à de nombreux petits agriculteurs, Irrigation depuis une rivière ou une retenue, par pompage ou dérivation. Riziculture dominante, complété par décrue et/ou pluvial. Puits ou forages en oasis ou en horticulture
Petit périmètre irrigué communautaire	Quelques dizaines d'hectares, aménagés sommairement à faible cout. Irrigation par pompage, par dérivation, ou par branchement sur des ouvrages d'Etat (barrages au Burkina, grands réseaux au Sénégal ou à l'Office du Niger). Riziculture dominante.
Petit périmètre irrigué individuel	Souvent inférieur à 1 hectare. Petit agriculteur périurbain ou proche d'une route. Pompage individuel souvent manuel, dans une retenue, une rivière ou une nappe peu profonde. Evolution possible vers des petites motopompes et l'irrigation localisée.
Petit ou moyen périmètre irrigué commercial	Quelques dizaines d'hectares, aménagés avec des capitaux d'origine non agricoles (fonctionnaires, hommes d'affaires, migrants). Ouvriers salariés. Emergence d'irrigation sous pression avec aspersion ou goutte à goutte pour une économie de main d'œuvre.
Grand périmètre irrigué agro industriel	1 000 à 20 000 hectares. Firme agro-industrielle, à capitaux nationaux ou étrangers. Production à haute valeur transformée sur place (cane à sucre, tomate industrielle, fruits et légumes exportés). Irrigation depuis le fleuve. Technique sophistiquée : planage, guidé au laser, aspersion, goutte à goutte, serres. Main d'œuvre qualifiée.
Submersion contrôlée en bord de fleuve	Aménagement sommaire de cuvettes en bord de fleuve. Riz flottants ou à paille longue au Mali (Ségou, Mopti) et en Guinée (Kankan)). Cultures tributaires de la pluie en début de cycle, puis de la crue (qui doit coïncider avec la croissance des plantes).
Bas-fonds en submersion contrôlée	Quelques dizaines d'hectares. Aménagement simple, prise au fil de l'eau ou seuil déversant. Riziculture en saison des pluies. En zones plus sèches, l'épandage des crues par digue filtrant pour apport d'eau de complément aux cultures pluviales (sorgho, maïs). Nappe utilisable en saison sèche pour du maraichage (puisard).
Décrue	Zone de battement de fleuve, lac ou retenue. Cultures (sorgho, maïs) ou pâturages (bourgoutières) soumis au cycle crue-décrue (eau stockée dans le et remontées capillaires). Décrue parfois contrôlée par barrage (Mauritanie) ou endiguement (lacs du Mali).

La typologie simplifiée des systèmes irrigués du Delta du Fleuve Sénégal n'est pas loin de celle-ci en tenant juste compte le fait que les 3 derniers types dans le tableau sont de moins en moins répandus actuellement dans le Delta par manque de crue.

III.3. La typologie simplifiée à travers le SDAR (Ndiaye, 2013)

Cette typologie de l'ARID est très diversifiée mais Ndiaye (2013) le simplifie et présente un cadre d'analyse (le SDAR) où il résume la typologie exacte des systèmes socio-agro-

économique du delta du fleuve en trois (3) types : **système paysannal, agricole et agro-industriel**. Il voit une différenciation entre eux surtout sur les aspects suivants : statut juridique, formation agricole, degré d'insertion dans l'économie de marché, modèle de gestion et de niveau d'investissements. Ces facteurs sont plus marqués si on passe du système paysannal au système agro-industriel et le système agricole reste le modèle intermédiaire.

Ce modèle d'analyse systémique est parfaitement adapté à l'étude des systèmes agricoles dans le Delta où se mêle allégrement les exploitations familiales agricoles structurés et organisés, les paysans traditionnels faiblement structurés et en fort difficultés et enfin des investisseurs agro-industriels sur des filières ciblées évoluant comme n'importe quelle entreprise moderne.

CHAPITRE 2 : Analyse historique de l'irrigation dans le Delta

De toute la riche bibliographie disponible sur cette période, deux ouvrages se sont avérés être les plus riches par la précision des récits et par le travail minutieux des chercheurs : l'ouvrage en 6 tomes de la FAO, Histoire de la Recherche Agricole en Afrique Tropicale Francophone coordonné par Tourte (2005) et le rapport de synthèse Tome 1 du projet Equesen de l'IRD, Ex Orstom (1993). Nous leur avons emprunté la plupart des explications sur les périodes pré-colonisation et colonisation française.

I. LA VALLEE ET LE DELTA AVANT LA COLONISATION : UNE AGRICULTURE DE DECRUE DANS DES ROYAUMES DISPUTES

A partir du 12^e siècle, l'histoire ancienne de la Vallée du fleuve Sénégal commence à être reportée d'une part par les arabes (carthaginois, voyageurs berbères) et les européens (Génois, portugais) et finalement par les français à travers l'exploration progressive le long du fleuve. Ainsi, environ 500 documents géographiques faisant référence à la Vallée ont été répertoriés entre 1500 et 1993 (Projet Equesen, 1993). Globalement les cartes faites à cette époque lointaine reportent tous un réseau hydrographique dense et plus important soulignant donc le contexte humide de l'époque (fortes pluviométries et des crues régulières).

L'agriculture irriguée manuelle a toujours existé, à petite échelle, dans les zones de retenues ou près des points et cours d'eau des villages. Cette irrigation est une forme de continuité et de remplacement progressif des cultures de décrue qui ont prévalu pendant des millénaires le long des cours d'eau de l'Afrique occidentale alors très humide (histoire de la recherche agricole Afrique francophone, Tourte, 2005). Ces cultures de décrue vivrières pour l'essentiel, étaient plus importantes que celles pratiquées en pluviale durant la saison des pluies. Tous les usagers de la ressource eau vivaient au rythme des crues et décrues du Fleuve Sénégal qui cordonnaient toutes les activités traditionnelles de la région (Coly, 1996 ; Seck et al, 2009). Les périodes de crues duraient deux mois sur les trois mois de la saison pluviale. Cette crue pouvait impacter chaque année plus de 100 000 ha le long du fleuve sur les deux rives, contre à peine 15 000 ha actuellement (Dia, 2005).

Il existait malheureusement, durant cette période, beaucoup d'années d'instabilité liées aux multiples batailles et conflits entre tribus Maures et royaumes du Walo en partie liées à la volonté d'accaparement des terres fertiles le long du fleuve dans le Delta. Les guerres menées par les tribus venant de la Mauritanie ont été toujours grandement facilitées par les sècheresses, l'abaissement du niveau du fleuve et le passage à gué des chevaux pour venir attaquer le Walo.

Du fait des échanges anciens entre l'Afrique subsaharienne noire et l'Andalousie hispano-berbère, il n'est pas exclu, bien que cela ne soit qu'une hypothèse, que les progrès de l'agriculture irriguée en provenance de cette région, citée par de nombreux agronomes de l'époque (Ibn Wafid, Ibn Bassal, Ibn al Awwam...) aient impacté l'agriculture de la Vallée. Cette période se termina avec le début d'un autre long processus socio-politique : la colonisation française. Celle-ci débuta d'abord par une période de « Grands voyages » ou missions d'explorations, surtout dans la zone du fleuve Sénégal, avec des hommes d'églises.

Louis Moreau de Chambonneau, agent de la Compagnie Française à Saint Louis en 1685 évoqua souvent l'agriculture de la Vallée notamment les modes de culture pratiqués, dont la double culture (hivernal pluvial et contre saison de décrue). Il élaborait le premier plan de « colonisation agricole du Sénégal ». Il jeta les bases sommaires d'un diagnostic agropédologique des terres du Delta et de la moyenne vallée, des potentialités à exploiter par l'instauration de colonat selon le modèle de pénétration nord-américain. Il évoqua régulièrement la fertilité supposée des terres Hollaldé, préconisa l'introduction de cultures comme le blé, le seigle, le froment, le raisin et déjà la canne à sucre (Tourte, 2005).

Le développement rural et économique mais surtout agricole de la zone saharo-sahélienne, à laquelle appartient le Delta du fleuve, a été en partie retardé, fragilisé durant 4 siècles (du 14^e au 20^e) par des séries de famines consécutives à des sécheresses. Ces périodes ont durablement façonné le paysage démographique rural par des déplacements massifs de populations vers les villes de Dakar et de Saint Louis, l'Afrique Centrale et l'Europe (Gado, 1993).

II. LA PERIODE COLONIALE JUSQU'AUX INDEPENDANCES (1800-1960)

Après l'exploration puis l'installation des jardins d'essai, la colonisation agricole française commença réellement dans la zone du fleuve, surtout autour de la ville de Saint Louis.

Les besoins croissants en matières grasses d'origine végétale en Europe favorisèrent la production arachidière pratiquée essentiellement par les paysans dans la vallée du fleuve Sénégal et le bassin centre d'abord, puis à partir de 1840 vers le Sud. Cette culture connaît un essor fulgurant partout au Sénégal et projette le paysan sénégalais de plein pied dans l'économie marchande mondiale.

Dans la vallée, les premiers agronomes du début du 19^e siècle apprennent et adoptent les noms poular (langue vernaculaire des peuls et toucouleurs) des formations pédologiques :

- *Diéri* pour les sols sableux jamais inondés,
- *Fondé* pour les terres intercalaires submergées de façon intermittente
- *Hollaldé* pour celles régulièrement inondées car situées dans les parties basses de la vallée.

Ces derniers types de sols très lourds et difficiles à travailler ont incité très tôt à la mécanisation des cultures. Les premiers essais de mécanisation avec l'introduction de la traction animale attelée (projet Makhana) et divers outils plus sophistiqués se sont faits dans la vallée en premier lieu avec des résultats au final jugés mitigés ou carrément décevants (Tourte, 2005).

Dans le cadre du projet de colonisation agricole, le gouverneur Julien Schmaltz fonda en 1816 une ferme modèle agricole appelée « *la sénégalaise* » dans la zone qui sera plus tard Richard Toll et à laquelle va succéder le fameux jardin royal. Jacques François Roger, gouverneur depuis 1821 et devenu baron en 1824 est celui qui le plus symbolise la volonté théorique de faire de la Vallée une zone de production agricole importante. Sur l'habitation royale de Koitel entre Dagana et Richard Toll, il installe un jardin d'acclimatation pour plusieurs cultures dont la canne à sucre et plante du coton dans les zones d'inondation et du mil sur les hauteurs. Son plan de colonisation agricole est une vision globale et il considère déjà, à juste titre, l'agriculture comme étant la seule richesse du Sénégal, le commerce devant être un auxiliaire. Pour y

parvenir il s'entoura de gens compétents dont le principal est Claude Richard, le jardinier expérimentateur. Plutôt que jardinier, Richard est surtout un ingénieur botaniste paysagiste qui développa à Richard Toll (la ville qui porte son nom), un domaine expérimental perfectionné et renommé. Parmi d'autres scientifiques collaborant avec Roger pour travailler sur l'agriculture, il y a l'ingénieur mécanicien Auguste Racaud qui mettra en place des machines pour « *faire monter l'eau* » et l'irrigation.

Richard s'installa donc à Nghiao avec du personnel. La zone sera baptisée, en avril 1922, Jardin de Richard ou Richard Toll. Aidé par une dizaine de personnes, il aménage un réseau d'irrigation et de drainage sur des bassins protégés des crues grâce aux bourrelets de berge de la Taouey qui protègent des crues et aide au dessalement des terres. Les parcelles sont labourées convenablement avec des charrues de récupération et plantées avec minutie. En 8 ans (de 1822 à 1830), ce sont plusieurs centaines d'espèces locales, africaines, caribéennes ou européennes qui seront testées, multipliées, étudiées à Richard Toll.

L'autre innovation locale imputable à Roger sera la volonté de promouvoir l'irrigation par le système de noria et de bascules à monter l'eau. C'est une technique avec une vase demi cylindrique d'environ 20 litres montée en haut d'un système de pivot sur un balancier. Le faible débit obtenu pour une irrigation des cotonniers, équivalent à une pluie de 1,5 mm/jour expliqua son abandon.

Le second système est basé sur une irrigation par rigoles et planches avec un canal d'amenée et une alimentation par un réseau de rigoles réparties sur toute la parcelle. Ce système est rapidement promu dans le Delta. Le baron et ses techniciens ont aussi rapidement vu l'avantage que pouvait constituer le lac de Guiers dans l'irrigation en période de crue et débordement de la mer. Ils réfléchissaient déjà sur les moyens d'arriver à maîtriser les embouchures de la Taouey pour irriguer la zone en période de décrue.

Malheureusement le projet de colonisation agricole entrepris par le baron Roger demeura non rentable pour une économie française en quête de nouvelles richesses avec la fin de la traite négrière. La faiblesse des productions (surtout de coton), le coût exorbitant des investissements déjà consentis et la faible participation des colons à ce type de production tempèrent les ardeurs du gouvernement mais aussi de son initiateur qui renonça. Cela sonna aussi le départ des techniciens et scientifiques de la Vallée. Entre 1827 et 1830, le projet est définitivement abandonné. La plus grave conséquence sera l'abandon total du jardin expérimental de Richard Toll. Avec le recul, des scientifiques pointèrent des fautes techniques dont, entre autres, le choix du Walo à la place du Fouta pour ce projet, du fait de la meilleure qualité des sols et des eaux de cette dernière région dans le contexte environnemental de la période d'avant les barrages. La salinité demeure le facteur contraignant majeur et induira, deux siècles plus tard, les orientations techniques pour les aménagements hydro-agricoles dans le Delta.

L'agriculture irriguée a donc existé au Sénégal depuis très longtemps, dans la vallée du fleuve Sénégal, on l'a vu, mais aussi ailleurs au Sénégal, même si elle le fut avec une faible intensité et une faible maîtrise de l'eau. Il s'agissait en particulier : (i) des jardins de case en contre saison pour les légumes vivriers, (ii) de la riziculture en Casamance (par une gestion optimale des eaux pluviales et marines dans des zones prises à la mer et aux mangroves), (iii) des aménagements

hydro-agricoles sommaires réalisés le long des cours d'eau en polyculture (cotonnier, blé, riz, maraichage).

Cette maîtrise passa par une gestion des régimes hydrologiques capricieux du fleuve Sénégal sujette régulièrement à des crues dévastatrices comme en 1841 où le Ferlo et ses vallées mortes furent submergés et en 1890 où une forte crue inonda Richard Toll et ses environs. La dernière grande crue de l'époque se situa en 1906 (Kane, 1997). La priorité fût donnée en 1915 par l'agronome Yves Henry (Tourte, 2005) à la zone du lac de Guiers qui devait pouvoir être sécurisée par un barrage (futur pont barrage de Richard Toll) pour aider à bloquer la remontée saline, emprisonner les eaux douces dans ce complexe et irriguer toute l'espace autour de la zone Taouey-Lac-fleuve. Mais ce projet tarda à démarrer à cause, en particulier, de l'abandon des essais agronomiques qui devaient l'accompagner.

Parallèlement à ces projets d'aménagements, Henry mena des travaux alors novateurs sur les besoins en eaux des cultures à travers des mesures de la demande évaporative dans la vallée. Des observations agro météorologiques furent faites entre 1873 et 1874 par le docteur Boruis à Saint Louis. Il mesura la demande évaporative à l'aide d'un évaporomètre de Piche sous abri en saison fraîche. Il a obtenu respectivement 6,0 4,9 et 5,8 mm/jour en décembre, janvier et février. Ces résultats furent confirmés bien des décennies plus tard par des appareils plus modernes. A partir de ces données, Henry émettra des recommandations relatives aux besoins en eau du cotonnier qu'il situe entre 800 et 1400 mm/cycle selon la saison.

En 1918, Léon Claveau (Tourte 2005) présente un projet qui aurait pu régler une bonne partie de la problématique de la production irriguée de toute la zone nord et centre du pays : la revitalisation des vallées fossiles du Ferlo par la création de deux canaux parallèles qui seraient maillés par la suite et visant à alimenter en eau d'irrigation et en abreuvoirs les anciennes mares du Ferlo. Ces canaux devaient partir respectivement de Bakel et Matam pour descendre vers les zones du lac de Guiers (Keur Momar Sarr) et l'axe Djolloff-Baol-Sine-Cayor. Ce projet ne s'est pas concrétisé. S'il avait vu le jour, il aurait, selon Claveau : (i) fixé définitivement un cheptel de 400 000 têtes à l'époque qui transhume à la recherche de mares d'abreuvoir, (ii) crée des voies navigables, (iii) apporté de l'eau douce vers les centres urbains du centre et (iv) boosté les productions agricoles sur une zone de plus de 1 000 000 ha.

Bien des années plus tard, en 1980, l'Etat aura des réflexions et fera des études quasi identiques dans le cadre du projet de revitalisation des vallées fossiles et le Canal du Cayor. Malheureusement, des incompréhensions diplomatiques (avec la Mauritanie) n'ont jamais permis à ce projet clé de voir le jour et chaque année des milliards de m³ d'eau (environ 13 selon la SOGED) se jettent dans l'Océan atlantique. L'eau du fleuve est encore insuffisamment valorisée.

La Mission d'Etudes du Fleuve Sénégal (MEFS) est créée en 1934 puis, en 1938, est créée la Mission d'Aménagement du Fleuve Sénégal (MAS) chargées toutes les deux de mener les études globales sur l'aménagement de la vallée du fleuve. Les travaux de cette mission seront largement entravés par la guerre mais, en 1939, deux premiers projets voient le jour : l'aménagement d'une station expérimentale à Diorbivol et la création de deux casiers expérimentaux dans la zone de Podor, alimentés par pompage dans le fleuve pour le coton et le

riz, sur environ 400 ha. En 1943, cette mission est rattachée à la direction des travaux publics de l'AOF avec cependant un service agronomique dirigé par un agronome.

Entre 1953 et 1955, Nesterenko et son équipe émettent plusieurs propositions d'aménagement de la vallée sur environ 400 000 ha dans les terres du Walo (Tourte, 2005). Mais il ne subsistera que celle du casier expérimental rizicole de Richard Toll qui avait déjà été entamé en 1945. Le projet de barrage de Gouina (au Mali) non retenu ne sera cependant que différé car, trois décennies plus tard, le barrage de Manantali sera construit.

Devant la difficulté de faire accepter par la puissance coloniale un projet vaste et incertain d'aménagement de la vallée, les missions techniques se concentrèrent sur des propositions d'aménagement du Delta entre Saint Louis, Richard Toll et le lac. Le projet Pelletier en 1945 prévoyait l'aménagement de 50 000 ha irrigués depuis le lac de Guiers. Ainsi en 1945, la MAS décida de rectifier la Taouey et d'aménager un pont barrage à écluse, achevé en 1948 (il remplace les barrages intermittents réalisés chaque année) qui sécurisa la réserve d'environ 500 millions de m³ du lac pouvant irriguer 30 000 ha de terres salées dans cette zone. La riziculture fût retenue pour 3 raisons principales (salinité des sols, submersion des cultures et besoins en croissance de cette denrée). Ainsi, de 1945 à 1950, la MAS fera réaliser par l'ORTAL un périmètre de 6000 ha dont 600 ha de casier expérimental, le reste en production intensive. Le découpage se fera sur 4 blocs hydrauliques de 1500 ha avec un dimensionnement du dispositif d'irrigation permettant d'apporter 2,5 l/s/ha. Après un début difficile sur 1500 ha, les rendements devinrent meilleurs (plus de 20 quintaux /ha) et permirent de continuer l'aménagement sur les 8 ans (Tableau 7). La station expérimentale, aménagée progressivement, dispose de sa propre centrale, d'une station de pompage et d'équipements annexes.

Tableau 7 : Evolution des surfaces aménagées dans le Delta (Dia, 1984)

Année	1952	1954	1957	1958	1960
Surface (ha)	1500	2200	4500	5800	5500

Le projet est confié à la SDRS en 1958 avec cependant beaucoup de difficultés à cause d'un déficit cumulé de 900 000 000 FCFA que l'Etat doit rembourser (Dia, 1984). Finalement ce périmètre sera rétrocédé à la Compagnie Sucrière Sénégalaise 1969 qui en 1970 y continua les essais d'introduction de la canne à sucre industrielle commencés dès 1968 par l'IRAT. Ce fut l'échec d'une première vraie modernisation et intensification dans le Delta suivi aussi par la première vraie tentative de privatisation de la production agricole irriguée.

Il est à noter que l'économie des zones colonisées (donc du Delta) avec une forte présence des français fut marquée par des séries d'exactions des colonisateurs, surtout pendant les guerres mondiales (impôts et réquisitions des réserves de nourritures, réquisitions des hommes qui servaient dans les champs, travaux forcés pour l'installation des infrastructures (Gado, 1993).

III. LA PERIODE POST COLONIALE JUSQU'A L'AVENEMENT DES BARRAGES (1960-1985)

Cette période charnière verra, juste après les indépendances, l'installation des structures nationales et sous régionales de gestion de l'agriculture irriguée : ENCR (Ecole Nationale des Cadres Ruraux) 1960, LDN (Loi sur le Domaine National) 1964, SAED 1964, ADRAO (Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest) 1971, ICRISAT (Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales Arides) 1972, OMVS 1972 (Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal), CILSS (Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel) 1973, AGHRYMET (Centre Régional Météorologique) 1974, ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agricole) en 1974 pour structurer la recherche et la gestion sous régionale et nationale de la production irriguée. Beaucoup de ces structures ont été fortement motivées par les épisodes terribles de sécheresse dans les années 1970 et la dégradation rapide de l'agriculture pluviale et des ressources céréalières. C'est une période charnière car, en même temps que l'acquisition de son indépendance, le Sénégal acquit aussi la lourde responsabilité de planifier et d'orienter les choix politiques de son futur développement. Très rapidement les jeunes Etats d'Afrique au Sud du Sahara se rendirent compte de leurs insuffisances structurelles et du besoin de mutualisation des ressources à travers les structures régionales.

Le premier cas de déficit de gestion d'une infrastructure hydro-agricole observé dans la jeune nation sénégalaise fût le périmètre rizicole de la SDRS (6000 ha) mal géré et fortement endetté, rétrocédé à la CSS en 1969 pour une mise en culture en canne à sucre à partir de 1970. Cette situation augure déjà des difficultés qui attendent l'Etat ou ses structures dans le Delta.

Dès 1960, l'Etat opta pour un gros programme de Recherche sur la canne à sucre, les aménagements hydro-agricoles axés sur le lessivage et le drainage, les tests de techniques d'irrigation aspersion sous pivot, ou gravitaire à la raie avec l'IRAT (Institut de Recherche Agricole Tropicale), la FAO, des Bureaux d'études français. Ce programme sera poursuivi et complété par la CSS.

Par le biais d'un acteur dominant, la SAED créée en 1965, l'Etat s'engagea fortement dans les différentes fonctions institutionnelles, productives et commerciales de la riziculture irriguée, mettant en place un système de développement agricole administré avec un contrôle de l'ensemble de la filière agricole. Ces politiques publiques sont traversées par un enjeu principal de sécurité alimentaire : la réduction des importations massives de riz par une augmentation des superficies irriguées rizicoles surtout dans le Delta. Cela a eu un effet d'entraînement pour les autres spéculations. Le riz et la tomate, spéculations dites traditionnelles connurent une assez forte progression des superficies (Dia 2010). La SAED ne sera pas le seul acteur de cette réforme agricole irriguée dans le Delta avec l'émergence des Foyers de Jeunes regroupés dans l'Amicale des Foyers du Walo (1967) et qui, financée par des ONG, se posa comme alternative organisationnelle à celle de la SAED, trop dirigiste et trop éloignée des préoccupations des jeunes agriculteurs de la zone. Globalement, cette période est marquée par le développement rapide des surfaces aménagées et irriguées dans le Delta à travers plusieurs types d'aménagements hydro-agricoles essentiellement publiques et sur financement extérieurs. Un organe majeur, la CPSP (Caisse Centrale de Péréquation et de Stabilisation des Prix) est chargé

de collecter une péréquation et des taxes sur les importations de riz et d'aider au financement de la riziculture irriguée. Mais la gestion peu transparente des sommes collectées sera un des facteurs explicatifs de sa dissolution durant les Politiques d'Ajustements Structurels.

Cette période est surtout marquée par une série de sécheresses désastreuses de 1968 à 1973 (baisse des débits, arrêt des crues, invasion d'eau marine, réduction drastique des cheptels, exode rural) et des invasions acridiennes. Ce fut une période difficile dans le monde rural en phase de déstructuration. Mais il y a eu l'annonce d'une urgence du développement de l'agriculture irriguée, d'où des investissements majeurs sur les barrages de Diama en 1985 et Manantali en 1988. La période entre les études et la mise en service prendra tout de même 15 ans.

IV. LA PERIODE DU DEBUT DE L'APRES BARRAGE JUSQU'AUX CHANGEMENTS MAJEURS DE POLITIQUE AGRICOLE (1985-1994)

Il s'agit d'une période d'intensification agricole avec de gros investissements dans la Vallée et surtout dans le Delta avec la SAED : périmètres irrigués, stations de pompage, rizeries... Des problèmes de base dans le Delta retarderont rapidement la croissance de la production (nappes et sols salés, sols lourds sujets à la compaction, systèmes d'irrigation et de drainage peu efficaces). Ces problèmes structurels se poursuivent jusqu'à présent. C'est pourquoi ils feront l'objet principal des études techniques dans la 2^o partie de la thèse. Les bailleurs de fonds, dont principalement la France et la Banque Mondiale, financeront, à travers l'Etat et des projets d'envergure, l'aménagement d'importantes surfaces agricoles irriguées en réponses aux sécheresses des années 1970 et 1980 et la réduction drastique de l'agriculture pluviale dans le Diéri et de Décrué dans le Walo facilités par la mise en service des grands barrages.

C'est une période d'études importantes portant sur la question du transfert d'eau vers le centre et l'Ouest du pays (revitalisation des vallées fossiles et canal du Cayor), projets malheureusement avortés et qui auraient changé la configuration actuelle de l'agriculture sénégalaise et de l'alimentation en eau potable des grandes villes de l'Ouest du pays.

En plus de la culture rizicole largement promue, des projets de diversification avec la culture de la tomate par la SOCAS (Société de Conserves Alimentaires du Sénégal) et la SNTI (Société Nationale de Tomate Industrielle) verront le jour. Nous assisterons aussi aux phases successives d'extension de la CSS sur les zones salées à la suite d'un programme de lessivage (Chapitre 6). Cette situation de recherche développement en interne qui peut prendre plusieurs années est possible avec une agro-industrie rentable et équipée sur une filière stable.

Les Politiques d'Ajustement Structurel (PAS) à travers la NPA voient le jour de 1985 à 1994 avec, finalement, la dévaluation du FCFA en 1994. En 1984, la Banque Mondiale commande une étude appelée « Gestion du développement agricole en Afrique » ou MADIA et en partenariat avec les agences des bailleurs de fonds (60% de l'aide à l'Afrique). Elle se déroula dans six (6) pays d'Afrique à la suite de laquelle fut présenté et imposé les politiques d'ajustements structurels à plusieurs Etats d'Afrique subsaharienne (désengagement de l'Etat, vérité des prix, arrêt des subventions). Avec ces politiques d'ajustement structurel, l'Etat s'est d'abord très fortement désengagé du bassin arachidier et des régions sud du pays et a concentré

ses investissements dans l'agriculture irriguée, principalement la zone du delta du fleuve Sénégal (Faye et al, 2007). Partout et dans presque tous les secteurs, ces politiques ont fini de mettre à mal un système de production agricole déjà trop faible structurellement : facteurs de production chers, marchés fragiles mais surtout une faible productivité. On assistera à la fin des subventions des intrants, à la suppression de l'ONCAD (Office Nationale de Coopération et d'Assistance au Développement) et de la SODEVA (Société de Développement et de Vulgarisation Agricole), la restructuration et le désengagement de la SAED (qui ne s'occupe plus que de la gestion des grandes infrastructures hydrauliques), la création de la CNCAS (Caisse Nationale de Crédit Agricole du Sénégal) chargé du financement de la production à un taux d'emprunt trop cher pour ce secteur (15 à 7%), l'installation de la FPA (Fédération des Périmètres Autogérés) en 1993 qui conduit à la professionnalisation brutale des OP (Organisations Paysannes).

Les exploitations familiales mal préparées, n'ont pas pu toutes se développer dans ce contexte et la production et la productivité agricole dans la vallée régressent. La situation a été si catastrophique que les organisations de producteurs de la Vallée réunies en 1994 à Saint Louis ont écrit une lettre ouverte au Président de la République dans laquelle elles menacent d'arrêter la culture du riz dans ces conditions (Aubel, 1994).

V. LA PERIODE POST DEVALUATION A CELLE DES CRISES ALIMENTAIRES (1994-2008)

Cette dévaluation de la monnaie le CFA par rapport à sa monnaie de référence le Franc Français de 100% (1 FF passe de 50 à 100 F CFA) a surtout profité aux systèmes irrigués peu consommateurs en intrants (produits importés) comme à l'Office du Niger et non aux systèmes du Delta du Fleuve Sénégal à fort consommation d'intrants dont le pompage obligatoire de l'eau d'irrigation (Bélières, 2011). En effet, même si, techniquement, le Franc CFA était surévalué par rapport à la valeur de nos économies, plusieurs auteurs soulignent que le renchérissement important (de plus de 50%) des coûts des intrants agricoles indispensables aux systèmes de production irrigués intensifs ont durablement réduit la croissance et la compétitivité de ce secteur.

De nombreux observateurs constatent l'échec tant économique que social, des politiques d'ajustement structurels au niveau agricole, qui ont conduit à partout dans la Vallée à la baisse des productions, l'abandon de surfaces trop sommairement aménagées en PIV (Périmètre Irrigué Villageois) et PIP (Périmètre Irrigué Privé) et le non entretien régulier des grands périmètres transférés. Dans la zone salée du Delta, sans système de drainage efficient (attente de la finalisation de l'Emissaire du Delta), les systèmes irrigués ont pris un virage dangereux. Ces contraintes expliquent largement la faible efficacité de la production irriguée dans le Delta pendant cette période et encore actuellement. De plus la Banque Mondiale, principal bailleur dans le Delta, a arrêté en 1996 de financer les aménagements hydro-agricoles et les autres bailleurs bilatéraux (Coopération Européenne, France, Allemagne, et Pays Bas) ont annoncé à l'Etat que la reprise de leur financement sera assujettie à la mise en place d'un meilleur modèle de maintenance des équipements hydro-agricoles. Cette maintenance posait vraiment problème avec, comme exemple vécu, le cas de la gestion collective désastreuse des équipements hydro-agricoles à l'Union de Débit-Tiguët marquée par des incohérences et des insuffisances multiples

(Sall, 1997). Cette exigence était tout à fait logique et ne devait même pas émaner des financiers internationaux mais de l'Etat sénégalais. La réorientation de l'aide internationale au développement fût symbolisée par l'option prise alors par la Coopération Française en 2000 d'arrêter les extensions de surfaces agricoles aménagées et de se concentrer d'abord sur une meilleure gestion des aménagements existants et qui sont loin d'être efficaces (Larbaigt, 2001).

Globalement, le retrait des bailleurs de fonds du financement du développement rural au Sénégal s'est traduit aussi par une concentration de l'APD (l'Aide Publique au Développement) sur l'agriculture irriguée dans la Vallée du fleuve Sénégal, au détriment des zones d'agriculture pluviale qui concentrent pourtant la majorité de la population agricole et rurale et les populations les plus pauvres. La pertinence de ce choix a été à plusieurs reprises questionnée compte tenu des coûts élevés des aménagements et des performances médiocres obtenues (Faye et al, 2007). Durant cette période, la double riziculture irriguée préconisée ne s'est pas développée et les propositions de diversification ont connu un faible succès.

Sur le plan institutionnel, il y a eu la mise en place de la loi d'orientation agro-sylvo-pastorale pour réorienter la politique agricole mais avec une insuffisance des investissements structurels (des bailleurs et de l'Etat) conjuguée à un malaise de plus en plus profond sur le foncier rural. Ceci suscite des convoitises. Des spéculateurs vont se ruiner sur les terres disponibles dans le Delta après *l'Alternance politique en 2000*, et s'allier avec les responsables des communautés rurales pour se faire attribuer illégalement des milliers d'hectares surtout dans la zone autour du lac (CR de Mbane). Heureusement, des années plus tard, la société civile et des ONG ont pesé pour que la plupart de ces terres soient désaffectées.

Au crépuscule de cette période difficile, une conjoncture mondiale négative (crise financière et des matières premières) associée à des phénomènes locaux (insuffisance de la production vivrière et dépendance totale vis-à-vis de l'importation alimentaire) engendreront une flambée des prix des denrées agricoles mondiales et une crise alimentaire majeure dans les pays sous-développés en 2008 ponctuée au Sénégal par la mise en place d'une énième politique agricole, la GOANA (Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance). C'est une année charnière et qui marquera le retour des investissements publics massifs et des bailleurs de fonds et l'essor de l'entrepreneuriat privé rural dans le secteur rizicole surtout dans la vallée (Dia, 2005).

VI. PERIODE RECENTE DE RENOUVEAU DES POLITIQUES PUBLIQUES : DE LA MISE EN PLACE DE LA GOANA AU PRACAS (2008-2020)

C'est l'ère des concepts politiques nouveaux dont les premiers GOANA et REVA (plan Retour Vers l'Agriculture) ont entretenus l'espoir mais aussi sonné le signal de départ du phénomène de l'accapement des terres agricoles dans le delta et d'une désorganisation totale de la politique publique agricole. C'est un modèle de « *retour désorganisé* » vers l'agriculture, plein de volonté mais mal formalisé.

A la suite de la 2^o alternance politique, en 2013, le PRACAS (projet inclus dans le PSE, Annexe 1) remplace la GOANA avec un arrêt de la colonisation foncière et une volonté de

professionnalisation agricole appuyée et aidée par l'Etat. Deux grosses tendances se dessinent actuellement :

1. Une nouvelle dynamique des agro-industries qui s'installent de plus en plus dans les zones peu fertiles du *Diéri* vue qu'elles ont les moyens de mettre en valeur en dehors de l'irrigation gravitaire polluante (SCL et GDS en goutte à goutte, CSS en goutte à goutte, West African Farm en aspersion, Sen India en pivomatique...).
2. Un soutien plus attentif à l'exploitation agricole familial du Delta : intensification des politiques intelligentes pour booster les filières (oignon, riziculture...) en termes de protection des marchés et d'aide à la production (CNCAS, BNDE, subventions des intrants, capital semencier, machinisme...). Ce regain commence à porter ses fruits dans certaines filières.

Dans le Delta, les dynamiques sont en train d'être appuyées par des projets ou structures techniques nouvellement mis en place :

- ✓ Le PDMAS (Programme de Développement des Marchés Agricoles et Agro-alimentaires au Sénégal) suivi du MCA (Millénium Challenge Account), des 3PRD (Projet de Promotion du Partenariat Rizicole dans le Delta) puis du PDIDAS (Projet de Développement Inclusif et Durable de l'Agrobusiness au Sénégal) : ces 3 projets de même type financés par la BM symbolisent la nouvelle orientation de l'Etat qui cherche à promouvoir rapidement l'entreprenariat agricole chez les ruraux autochtones et l'essor de l'agro-industrie sur de grandes surfaces afin de dynamiser le secteur de la production d'exportation en même temps que l'autosuffisance en riz.
- ✓ L'OLAC (Office des Lacs et Cours d'Eau) qui succède à l'OLAG (Office du Lac de Guiers) et vise à terme à mettre en valeur toute la zone périphérique du Lac de Guiers (zone sableuse par excellence) à travers des aménagements structurants et un suivi renforcé de la qualité des eaux. Son second axe sera prochainement la mise en valeur de l'ancienne vallée morte du Ferlo.

En 2016, la Banque Mondiale annonce que le Sénégal enregistre des résultats macro-économiques solides et que dans le secteur agricole, en particulier, cette croissance s'explique par les très bons résultats obtenus dans des secteurs faisant l'objet de programmes publics ciblés (l'arachide, le riz et l'horticulture). « *Les réformes et les investissements publics réalisés dans le cadre du Plan Sénégal Emergent, ainsi que les bonnes conditions météorologiques et la baisse des prix pétroliers sont autant de facteurs qui ont contribué à ces performances* ». Mais, est-ce une situation stable et durable qui peut accélérer la croissance agricole et le boom attendu toujours dans l'agriculture irriguée du Delta ? En effet, on parle ici de météo ou de prix pétroliers, deux facteurs fluctuants difficilement maîtrisables ?

La synthèse globale des observations faites nous donnent les caractéristiques principales de l'agriculture irriguée dans le Delta sur la base d'un modèle d'analyse SWOT.

Potentialités : ressources foncières, ressources en eau, infrastructures, marchés, encadrement, expérience producteurs, climat, fournisseurs, prestataires, ressources humaines

Faiblesses : financement, salinité nappes et sols, drainage, capacité de résilience des filières agricoles

Réussites : barrages, PME rizicoles, agro-industries, recherche agricole, gestion transfrontalière de l'eau, emplois agricoles, désenclavement des villages, diversification des productions, tarification de l'eau agricole pour les grosses exploitations

Echecs : aménagements insuffisants et sommaires, productions faibles, salinisation et abandon des terres, pollutions multiples, agriculture familiale peu rentable, retard réalisation schéma directeur d'aménagement, recouvrement de la tarification non industrielle.

Cette analyse chronologique a permis d'entrevoir l'importance capitale des choix politiques :

- Les décisions et événements politiques ont une importance capitale car ils influencent systématiquement les événements socio-économiques et cela plusieurs années après.

Exemple 1 : Option politique d'intensification de la culture d'arachide.

Conséquences : baisse de facto de la surface allouée aux cultures vivrières et baisse à long terme du stock vivier. Si en plus la sécheresse a sévi 2 décennies, nous avons comme conséquence la dégradation des terres (fertilité) et des épisodes de famine et exode rural.

Exemple 2 : Politique de désengagement de l'Etat sans suffisamment de préparation ou d'accompagnement ;

Conséquences : baisse des facteurs de production initialement gérés par l'Etat et donc baisse de la productivité et après plusieurs années, chute de la production agricole et dégradation avancée des exploitations agricoles familiales de base.

- Les décisions et événements politiques sont stratégiques car conditionnant la mise en place ou non des investissements majeurs comme les infrastructures qui sont les bases de la productivité.

Exemple 1 : La décision de construire les barrages de Diama et Manantali découle d'un choix politique très contesté à l'époque mais au final a permis l'extension des surfaces irrigables (en plus d'autres aspects comme l'énergie et la navigation)

Conséquences : à partir de certaines décisions courageuses et réfléchies, on peut bâtir des programmes ou projets sur des siècles (aménagement à long terme de la vallée sur 4 pays)

- Les choix politiques ont souvent été utilisés comme des facteurs correctifs ou d'atténuation de situations socio-économiques qui elles résultent soient d'autres choix politiques antérieures, de conditions climatiques défavorables ou alors de chocs économiques exogènes.

Exemple 1 : Choix de construire des barrages, dicté en urgence par les sécheresses cycliques et la famine mais qui vont impacter les écosystèmes plus que prévu.

Exemple 2 : Mise en place de la GOANA pour juguler la crise alimentaire et les émeutes de la faim alors que celles-ci ne sont pas uniquement d'origine agricole.

Exemple 3 : Politiques d'Ajustements Structurels mises en place pour corriger les déficits sévères des budgets nationaux mais qui au final n'ont fait qu'accentuer la pauvreté car l'économie formelle corrigée n'est que peu liée à la vie réelle des ruraux.

Commentaire : Malheureusement tous ces évènements socio-économiques ne découlent pas d'un fait isolé et maîtrisé et donc les décisions politiques prises ne peuvent proposer que des corrections imparfaites, coûteuses et insuffisantes.

Par conséquent, **les choix politiques agricoles** enregistrés constituent ici la cause la plus importante du retard du développement agricole de cette zone car ils ont été trop souvent conjoncturels, sans analyse globale de la situation et assez souvent mis en place pour corriger rapidement des situations socio-économiques (structure de l'exploitation familiale, faiblesse des équipements, accès au crédit...) et/ou climatiques structurelles. Ils ne pourront donc que maquiller la vraie situation ou ralentir l'intensité de la dégradation de la situation socio-économique.

Ces choix politiques devaient être soutenus et financés dans la durée par une économie forte et capable de supporter des chocs extérieurs alors qu'ils ont été précisément mis en place pour atteindre cet objectif dans le cadre d'une économie encore trop déstructurée et informelle, non générateurs de suffisamment de recettes. L'endettement continu et perpétuel ne pourra pas se substituer, dans la durée, à des sources de financement interne (privé ou public) pour bâtir une économie viable.

La période la plus marquante du désastre agricole au Sénégal est clairement **la décennie 1984-1994** avec une série de mesures et de politiques inadaptées à une jeune économie, assez restrictives afin de stopper le financement intenable de notre modèle de développement jugé trop social, améliorer des indicateurs) macro-économiques sans se préoccuper du fait fondamental que ce modèle économique n'est en fait que très peu relié à la vie quotidienne des hommes surtout des millions de ruraux et de l'agriculture en particulier.

La période la plus favorable est sans doute l'actuelle, **après le choc de 2008**, marquée par un net regain des investissements privés, les meilleurs vecteurs selon nous, pour asseoir des systèmes de production durables, un environnement mondial positif avec un pétrole bon marché et des prix de denrées alimentaires élevés mais surtout un cadre politique plus vigilant et qui tente de corriger les structures de l'agriculture irriguée (financement, équipement, filières, transport...).

Les principaux facteurs soulignés par l'analyse historique et qui impactent clairement la dynamique de l'irrigation/drainage dans le Delta sont les suivantes : salinité et chimie des sols, drainage de la nappe et des eaux usées agricoles, systèmes d'irrigation et qualité des infrastructures, recherche développement et vulgarisation des pratiques innovantes, gestion du foncier rural, migration et modèle économique national. Ces points vont être détaillés dans une analyse transversale afin d'en déterminer les plus urgents.

CHAPITRE 3 :

Analyse transversale des principales problématiques soulevées par les données historiques

Il existe plusieurs formes d'approche pertinentes par rapport à la question de durabilité (physique, hydrologique, technique, économique, sociale, environnementale). Nous allons insister uniquement sur les facteurs les plus pertinents qui ont eu un impact profond sur la production irriguée dans le Delta et qui souvent, sont interdépendants.

I. EVOLUTIONS CHIMIQUES DES SOLS : TROP PEU DE MATIERE ORGANIQUE ET SALINITE

Les sols du Delta et de la Basse Vallée ont subi une évolution régressive avec une salinisation et par la suite, un assèchement ayant abouti à une dénudation complète (Kane, 1997). Les principales contraintes soulevées par les auteurs et liées au sol du delta sont : la salinité, l'acidité, le faible taux de matière organique et l'érosion éolienne.

Les sols et les nappes aux abords immédiats du fleuve sont salés. La SAED estime, en 2012, à 15 000 ha la surface aménagée et abandonnée dans la Vallée (SAED, 2009). Les sols près du lac sous influence de la nappe sont acides. Tous ces sols près des plans d'eau sont potentiellement aptes à la riziculture qui, comme la canne sous drainage efficient, parvient à baisser le niveau de sels solubles (par prélèvement et assecs). L'érosion est soit hydrique soit éolienne. Elle est hydrique à la suite de gros épisodes d'averses et d'orages, elle est éolienne dans les zones dunaires, lors de vents violents et desséchants dans les sols sableux du Diéri. Ces sols sableux, un peu plus loin du fleuve, sont actuellement les seuls disponibles pour les extensions hydro-agricoles. Cette diversité de sols est source de baisse de performances hydrauliques liée au fait que chaque sol à ses caractéristiques propres (Tableau 8).

Tableau 8 : Evaluation des pertes hydriques sur les sols du Delta (CSS, 2018)

Type pertes (%)	Sol léger (sableux)	Sol moyen (mixte)	Sol lourd (argileux)
Ruissellement	2	15	30
Percolation	40	10	5
Canaux	15	8	2
Cumul pertes	57	33	37

Une des conséquences les plus marquées de tous ces phénomènes est la baisse régulière de la fertilité des sols dans le Delta. Les pratiques de culture irriguée ou extensive sans aucune forme de restitution organique et minérale ont pour conséquence un appauvrissement progressif et une acidification des sols et donc une baisse des rendements (Faye et al, 2007). En plus des aspects structurels de sols de la zone (salinité, acidité, perméabilité ou compaction), la pauvreté en matière organique et en éléments nutritifs de base est très handicapante. Les cultures irriguées ont du mal à exprimer leur plein potentiel, surtout que les dernières variétés mises en place dans toutes les filières arrivent avec un package de fertilisation proposée par la

Recherche/Développement. Pire encore, le taux moyen d'utilisation des fertilisants chimiques au Sénégal a baissé de 11,8 kg/ha/an en 2002 à 6,7 Kg/ha/an en 2014 (BM, 2017).

La matière organique du sol est fondamentale pour la productivité du sol car elle améliore les propriétés biologiques et physico-chimiques du sol. C'est une source énergétique pour les micro-organismes du sol et donc elle permet aux microorganismes de se développer et d'améliorer la fertilité du sol.

Une bonne association entre la matière organique et l'argile (complexe argilo-humique) aboutit à la formation d'agrégats dont la taille peut varier de quelques micromètres à plusieurs centimètres. Ces agrégats donnent au sol une certaine résistance physique aux agressions mécaniques naturelles ou artificielles. Cette capacité à résister traduit la stabilité structurale du sol dont résultent la porosité et la formation d'agrégats grumeleux, qui améliorent **la réserve en eau, la perméabilité, l'aération et le développement du système racinaire**. Ces éléments sont des paramètres clés pour l'obtention d'un bon rendement en agriculture irriguée.

Le lien entre MO (Matière Organique) et Argile (tableau 9) et la formation du complexe argilo-humique permet aussi de fixer les bases échangeables et l'azote et elle contribue ainsi à la capacité de stockage des engrais minéraux. Durant sa décomposition, la matière organique libère des **éléments nutritifs N, K, P, S** qui contribuent à la nutrition de la plante (Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, 2005).

Tableau 9 : Teneur moyen en matière organique dans un sol tropical en fonction du taux d'argile dans le périmètre de la CSS (CSS, 2018)

Niveau Argile	Moyenne de MO %
Inf. à 10 %	0,53
Entre 10 et 20 %	0,66
Entre 20 et 30 %	0,9
Entre 30 et 40 %	1,03
Entre 40 et 50 %	1,22
Supérieur ou égale à 50 %	1,5
Moyenne générale	1,04

La faible teneur en matière organique du delta est analysée au travers des sols du périmètre de la CSS qui, pourtant, bénéficient d'apports réguliers en matériaux organiques (compost) et chimiques (Tableau 10).

Tableau 10 : Evolution du taux de la matière organique sur les sols de la CSS par type (en %) (Sall, 2015)

Sols	Historique	2014-2015
Lourd	0,9	1,075
Léger	0,5	0,3
Moyenne	0,7	0,68

Malgré le volume important des résidus de récolte laissés aux champs (pour le riz et la canne surtout), les conditions très favorables à sa minéralisation (température, humidité, rayonnement, travail du sol) ne permettent pas son accumulation. On peut noter aussi que les sols dont la teneur en argile est la plus faible sont ceux avec les teneurs en MO les plus faibles (Tableau 9).

La faible teneur de la MO dans le sol peut entraîner une baisse de la stabilité structurale avec comme conséquences possibles en culture irriguée comme en culture pluviale, l'érosion, la battance, une décalcification accélérée, donc une dégradation de la fertilité du sol et une diminution des rendements.

Une teneur en matière organique suffisante est donc un facteur important pour l'amélioration durable des aptitudes agronomiques des sols. Les amendements organiques (surtout sous une forme stable), la récolte en vert, l'enfouissement de la paille, la diminution du travail du sol etc., pourraient permettre de relever les niveaux de la MO dans les sols du Delta. Cependant, vu les conditions agro-climatiques très favorables à la dégradation et à la minéralisation rapide de celle-ci, il ne sera certainement pas possible de dépasser un seuil limite maximal qui dépendra de la teneur en argile. Ce seuil sera très probablement inférieur à celui souhaité. Le modèle de fertilisation en grande culture à la CSS est basé sur un amendement organique et/ou calcique et une fertilisation chimique raisonnée (et même fractionnée avec des apports quotidiens en micro-irrigation) après analyse des sols avant culture et des plantes en cours de culture. Ce modèle est une option qui a permis jusqu'à présent la durabilité de l'exploitation intensive de la canne à sucre et il peut servir de base de réflexion pour des pratiques de fertilisation performantes et durables dans les sols comparables de la zone.

II. EVOLUTIONS DES NAPPES ET PLANS D'EAU : SALINITE ET PROBLEMATIQUE CENTRALE DU DRAINAGE AGRICOLE

Les nappes du Delta sont très salées et celles au voisinage du lac sont acides. Les nappes et sols du Delta ont été salés, depuis des millénaires par les intrusions récurrentes d'eau marine (Tab 11). Les plus connues et virulentes ont commencé en 1903. Elles ont créé une nappe hyper salée qui se situe à moins de 1 mètre du sol (Projet Campus, 1992). Un suivi piézométrique régulier du casier de la CSS permet d'observer cette nappe atteignant souvent la cote de -50 cm de la surface (Sall, 2017). L'effet de la pratique d'une irrigation rizicole de submersion sur la remontée des nappes alluviales fut confirmé par le suivi des eaux souterraines effectué dans le projet OMVS-USAID à partir des résultats du suivi d'un réseau de 672 piézomètres dont 252 dans le Delta avec les mêmes valeurs qu'à la CSS (Kane, 1997). Ngning (2015) explique que les transferts de flux hydriques et des sels dans le Delta suivent un cycle de recharge-décharge lié à l'irrigation intermittente et au relèvement du plan d'eau du fleuve et par conséquent de

dilution-concentration contrôlée par le bilan d'eau. Les échecs de la colonisation agricole au début du 20ème siècle sont en grande partie attribués à la présence de ces eaux salées pendant 8 mois, associée au sel fossile de la transgression du Nouakchottien.

Tableau 11 : Evaluation de la distance de pénétration de la mer selon la baisse du débit du fleuve

Débit fleuve m ³ /s	Distance de pénétration de l'eau de mer de l'embouchure (km)
50	140
100	115
150	90
200	75
300	58
600	0

A la suite des études d'évaluation pédologiques et hydrogéologiques menées pour la reconversion du casier rizicole en complexe sucrier agro-industriel, des contraintes hydro-pédologiques recensées et relatives à la salure des terres et à la présence de cette nappe salée peu profonde ont motivé une série d'études visant à évaluer la faisabilité de l'implantation à Richard Toll d'un périmètre sucrier sur la base d'un réseau dense de drains à ciel ouvert et de drains enterrés. Diverses équipes de la FAO, de l'IRAT et des bureaux d'études français se sont impliqués dans cette tâche (Tourte, 2005).

Cette opération, qui a pris un temps relativement important (10 ans) est un gage réel de durabilité d'un aménagement hydro-agricole car tous les facteurs et paramètres techniques ont fait l'objet d'une étude poussée et d'un choix optimal. Le principal facteur limitant mis en avant, valable pour tout le Delta est la salure. Il est donc évident que le drainage des terres du Delta dans le cadre de l'agriculture irriguée est la seule option possible pour rendre durable une production agricole rentable (Cissé, 2007).

La problématique principale à ce niveau est le devenir des eaux de drainage agricole. Cissé (2007) note que les grands périmètres rizicoles sont associés à des réseaux de drainage hiérarchisés à ciel ouvert qui rejettent les eaux de drainage, par des stations d'exhaure, soit dans des dépressions naturelles (Boundoum, Krankaye, Ndiaël, Noar, Pardiagne) soit dans le fleuve Sénégal (casiers de Dagana, Débi-Tiguët, Thiagar) ou encore dans le lac de Guiers (casiers de Ndombo-Thiago), le tout sur presque 20 000 ha. Les aménagements privés paysans, dépourvus de systèmes de drainage, évacuent les eaux de drainage en contrebas des champs. Les casiers sucriers de la CSS drainent principalement dans le lac de Guiers (1800 ha) et dans le fleuve Sénégal (6500 ha). Une bonne partie de ces eaux est porteuse de résidus de produits chimiques, engrais et pesticides.

Si, pour le Fleuve, le risque écologique est jugé faible car l'écoulement permanent des eaux contribue à diluer les charges polluantes, il en est autrement du Lac de Guiers, principale source d'eau potable vers les régions Sud-Ouest de Dakar et de Thiès et où, en plus de l'agriculture

irriguée, les populations risquent d'entretenir cette situation de pollution (biologique et bactériologique) par des activités domestiques et d'élevage (Diop, 2017 ; Cissé, 2015).

Plusieurs études menées dans les années 1990 et 2000 par l'IRD et l'UCAD ont contribué à une meilleure connaissance physique, chimique et bactériologique du lac (Niang 1998 et 2011). Plus récemment, le suivi environnemental de l'OLAC (Office des Lacs et Cours d'eau du Sénégal) est venu apporter quelques réponses claires sur le niveau de dégradation ou de pollution du Lac. Déjà, en 1976, un cri d'alarme a été lancé par le chef de Service des Eaux et Forêts sur la pollution du Lac de Guiers par les eaux de vidange des casiers de tomates installés sur le bord oriental du Lac (Ba, 1977). Cogels (1994) souligne que « Les rejets dans le fleuve des eaux de drainage des cultures sont aujourd'hui l'un des gros problèmes de la région... à terme et compte tenu des extensions des cultures, l'aspect qualitatif de la gestion de cette zone deviendra fondamental ». Kane (1997), abonde dans le même sens : « les eaux de drainage sont un problème majeur et leur gestion demeure une question très importante pour l'avenir de l'agriculture irriguée dans ce milieu fragile... Le problème est complexe et la situation est devenue préoccupante ». Le drainage des eaux d'irrigation est indispensable. Sa réalisation technique n'est cependant pas évidente et suppose une prise en compte du problème à l'échelle de l'ensemble du Delta ». (Dia et Legal, 1997)

La problématique principale des aménagements du Delta est le besoin indispensable de drainer les eaux excédentaires et de la nappe salée fluctuante. Mais ce besoin ne veut certainement pas dire que tout doit être autorisé. Le PDRG (Programme de Développement de la Rive Gauche) est clair : il faut obligatoirement un émissaire du Delta pour parfaire le schéma hydraulique et parachever l'approche globale d'aménagement viable et durable. Dès lors se pose avec acuité la question de son retard sur la réalisation de sa branche B : Krankaye-Haut Delta (Cissé, 2011).

Les anciens aménagements agricoles, ceux du casier gravitaire de la CSS comme toutes les autres dans le Haut Delta ont été réalisés à partir des années 1950 dans un contexte totalement différent de l'actuel : sans schéma hydraulique global à l'échelle du Delta, sans étude d'impact environnemental et social (encore inconnues même à cette époque en Europe), sans prise en compte réelle des extensions futures possibles autour des zones d'habitation et des périmètres riverains. Ces aménagements ont été faits sur la base d'options trop sectorielles qui, dans la quasi-totalité des cas, ne tiennent pas compte des contraintes environnementales dans les schémas produits, depuis les études jusqu'à la conception (Boivin et al, 1993). Mieux, Les aménageurs de certains périmètres publics (Ndombo, Thiago, Thiagar...) financés par les bailleurs internationaux et validés par les structures publiques comme la SAED ont toujours recommandé de drainer dans les exutoires naturels dont l'Ancienne Taouey et donc le Lac de Guiers. D'autres aménagements privés (PIV) drainent dans les drains de la CSS qui ensuite drainent vers le Fleuve et le Lac. En 2017/2018, le projet de réhabilitation des périmètres de Ndombo et Thiago financé par l'OMVS et piloté par la SAED a demandé et obtenu de la CSS, l'autorisation de drainer ses eaux de drainage (sur 1000 h environ) dans l'Ancienne Taouey vers le Lac au moment où la CSS a installé une nouvelle station de dérivation qui réduit les surfaces connectées au Lac (station X2). L'objectif ici n'est pas de polémiquer mais de montrer les limites actuelles des systèmes irrigués de surface, très complexes. Ceci montre le besoin d'une politique globale et intégratrice, fondée sur la Science, sans passion ni jugement de valeur

Dans cette situation d'attente de l'Emissaire pour finaliser et rendre obligatoire tous les raccordements des réseaux de drainage, trois approches se profilent :

- Le principe pollueur-payeur qui est selon nous la plus néfaste des solutions. En effet il accentue une différenciation économique sur le devenir et la gestion des aménagements : les exploitations aisées auront largement les moyens et le droit de polluer, les plus faibles sans aucun droit, continueront à être plus vulnérables. A moins que les sommes collectées chez les pollueurs « riches » servent à financer la viabilité des pollueurs « pauvres » qui eux vont continuer à polluer. Ce point constitue une remarque de taille et l'OLAC estime sur ces deux derniers rapports (2017 et 2019) que « *le risque le plus important dans cette pollution réside dans les centaines de petits producteurs et habitants autour du lac, difficilement contrôlables et qui utilisent souvent (compte tenu de leurs moyens) des produits chimiques de contrebande prohibés ou périmés* ».
- Le principe de précaution, valable sur le plan international sur toutes les sources d'eau potable pour les populations consommatrices. C'est ce principe, certes le plus contraignant, qui doit nous guider à accélérer le projet de l'Emissaire principal mais dans cette situation tous les acteurs seront logés à la même enseigne et devront donc trouver les moyens de s'adapter et de se connecter. A moins que l'Etat ne subventionne une partie des infrastructures nécessaires, beaucoup de producteurs agricoles riverains ne se connecteront jamais à cette Emissaire car le coût sera tel que la production agricole ne sera pas rentable.
- La situation idéale serait de procéder, pour chaque gros pollueur, au traitement de base de ses eaux de drainage avant de les rejeter dans les exutoires naturels avec cependant des coûts élevés et une technologie très moderne. Si c'est le cas, il faudrait que ces coûts soient, au final, inclus dans les charges de production. Elles pourraient clairement impacter les prix de revient et donc de vente des produits fabriqués (riz, sucre, tomate, oignon).

Ce focus sur le Lac, qui cristallise les attentions et génère beaucoup d'études, ne doit pas occulter la pollution diffuse vers le fleuve. Les rapports de l'OLAC soulignent régulièrement la présence de molécules chimiques prohibées dans les eaux pompées au niveau de la station d'irrigation de Richard Toll (CSS), juste à la sortie du fleuve, premier site de leur dispositif de suivi (OLAC, 2017). La pollution du Fleuve Sénégal et donc de ses défluent commence depuis la zone source car il traverse plusieurs milliers d'hectares de culture et d'industries minières extractives.

Au-delà de ces aspects techniques, juridiques et organisationnels il est évident que les grandes structures agro-industrielles qui génèrent beaucoup de rejets de drainage doivent, à travers des approches GIRE, et Nexus, intégrer des dimensions environnementales et faire le plus d'efforts rapidement afin de « limiter » au maximum leur charge polluante. Cette situation explique l'option d'aménager en micro-irrigation, système d'irrigation non drainant et faiblement polluant, les 3200 ha d'extension sur les 10 dernières années à la CSS. Cette surface constitue, à l'heure actuelle presque 30% de la surface cultivée. Plus d'efforts doivent encore être faits et des solutions durables trouvées comme l'étude en cours sur la réutilisation de ces eaux pour irriguer de la canne énergie (Cf. 2^o partie). En attendant, un suivi régulier, rigoureux et neutre

de la situation de ces plans d'eau s'impose (OMVS et OLAC) et doit servir de repère et de référence à tous. Cissé, dans sa thèse (2011) conclut : « *En définitive, la recherche de teneur en métaux lourds, en pesticides organochlorés et organophosphorés dans trois émissaires de drainage du Delta du fleuve Sénégal n'a pas révélé d'anomalies majeures, ni pour la santé ni pour l'environnement* ». Pour le moment, les analyses et rapports produits officiellement font état d'une pollution chimique avérée, continue et multiforme en plusieurs endroits et de plusieurs acteurs mais à des niveaux encore jugés acceptables (Cissé, 2011 ; Diop, 2017 ; OLAC, 2017). Cependant, l'impact des rejets de la CSS sur la salinisation du lac est avéré, associé à une forte évaporation du plan d'eau (Carl Bro, 1999 ; Cogels, 1986 ; OLAC, 2017 ; CSS, 2011).

III. EVOLUTIONS DES INFRASTRUCTURES, AMENAGEMENTS ET ORGANISATIONS HYDRO-AGRICOLES

Beaucoup de scientifiques soulignent, à juste titre, que le Delta du fleuve Sénégal n'est pas une région d'irrigation naturelle (Projet Campus, 1992). Il a fallu domestiquer la nature, artificialiser le milieu. Les infrastructures hydro-agricoles ont évolué trop lentement au début du siècle. Le premier projet installé hydro-agricole de grande envergure fut le projet de Richard Toll en 1944 avec Station de pompage en tête de réseau, Pont Barrage pour régulation, réseau de canaux à ciel ouvert et réseau de drainage. C'est ce projet qui sera repris plus tard par la CSS et amélioré sur environ 9000 ha.

Cette extension s'est accompagnée d'une série d'aménagements hydrauliques dont les plus importants sont relevés ci-dessous (Tableau 12).

Tableau 12 : Chronologie de la mise en place des principales infrastructures hydrauliques dans le Delta et la CSS (Sall, 2005)

Année	Aménagements hydrauliques	Pompage CSS
1947	Pont barrage de Richard-Toll (B1)	Néant
1956	Digue de Keur Momar Sarr	Station Principale
1974	Rectification de la Taouey	1° station réhabilitée+ 1° exhaure
1980	Second pont-barrage (B2)	2° station Ndombo
1989	Endiguements et aménagements des terres du lac	3° station + 2° exhaure
2002	1° Périmètre en micro-irrigation	4° station de pompage

Depuis les années 1950, l'essentiel des travaux d'aménagements dans le Delta ont donc porté sur la protection de la réserve d'eau douce du lac de Guiers. Le barrage de Kheune (qui est en fait une digue géante régulièrement emportée par la crue entre 1983 et 1985) fut le premier ouvrage de grande envergure sur le fleuve dans le Delta pour lutter contre la remontée de la langue salée. Ce fut un projet entièrement bâti sur la prévision hydrologique du tarissement du fleuve à partir des données fournies par le satellite Argos. Le financement (1/2 milliard avant dévaluation) revient aux Etats et à la CSS et l'exécution fut confiée au Génie Militaire et à la

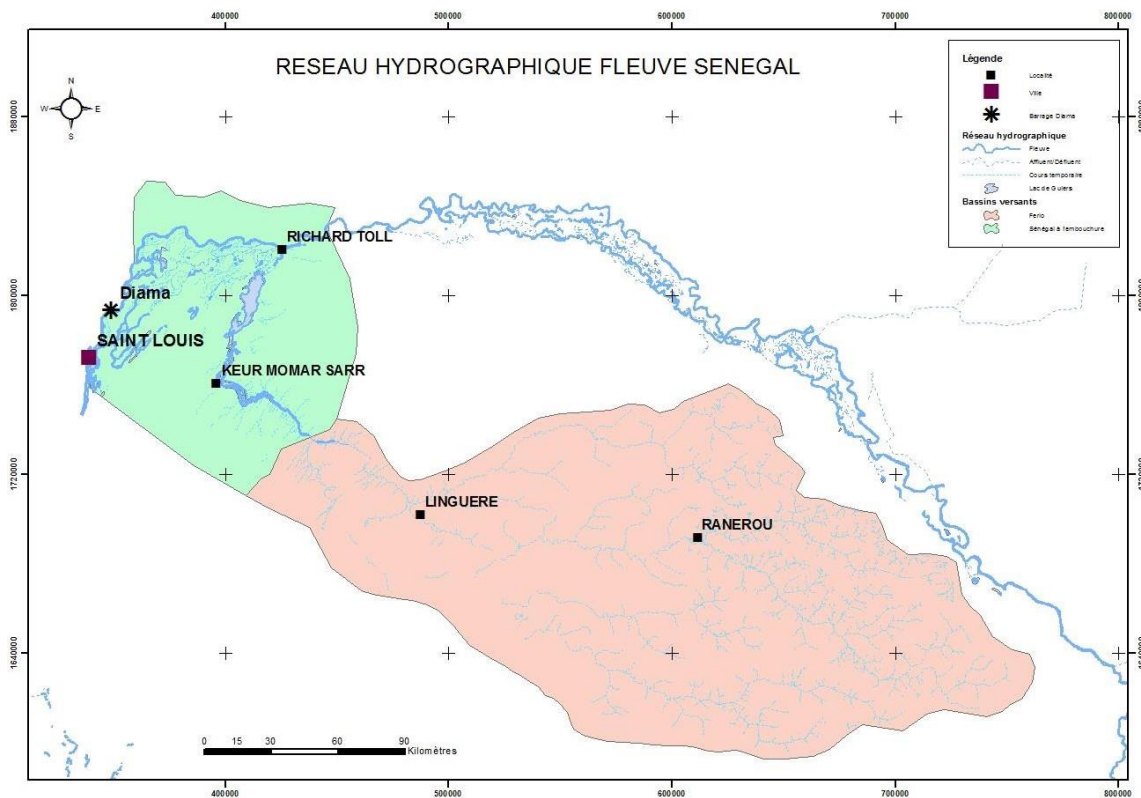
flotte de la CSS qui édifieront ensemble, chaque année, ce barrage anti sel efficace jusqu'en aout 1985 et son remplacement définitif par Diama en Novembre de la même année.

Les deux ponts barrages édifiés sur la Taouey et la rectification du profil de celui-ci (ramené de 27 à 17 km quasi-rectiligne) ont ainsi permis de le réguler correctement, de bloquer la langue salée à Richard Toll (entre janvier et juin) durant la décrue et alimenter convenablement le lac durant la crue d'Aout à Novembre. Pourtant, depuis 1916, les populations locales construisaient en Avril un barrage en terre pour empêcher la remontée de la langue salée dans le Lac (Ba, 1977).

Les deux infrastructures majeures chargées de solutionner ce problème (et bien d'autres) furent les barrages de Diama (1985) et Manantali (1988). Ces barrages devaient radicalement changer la configuration de la Vallée malgré un nombre important d'opposants à ce projet (agronomes, journalistes, économistes) souvent étrangers. Malgré toutes les contraintes soulignées dans plusieurs études et rapports et mettant l'accent sur les incidences négatives (baisse et abandon de la crue surtout pour la haute et moyenne vallée, déséquilibre des écosystèmes naturels) les avantages comparatifs sont plus importants et ont eu un impact réel positif sur bien des aspects de la vie dans cette zone surtout dans un contexte de changement climatique irréversible (arrêt de la langue salée, maîtrise de l'eau agricole, accroissement du potentiel des terres cultivables irriguées, ...). Le Président Diouf dans un discours à l'OMVS en 1984 (Barry, 1985) soulignait : « *Un bref rappel historique montre, à l'évidence, que l'option des barrages est la seule qui puisse efficacement s'opposer à la dégradation constante de l'environnement... En dépit de ses détracteurs, l'OMVS a gagné la première partie de son pari. En 1988, les Etats riverains disposeront, en effet, grâce à un fleuve entièrement maîtrisé, des instruments d'un développement inter-régional dépassant largement le cadre de la vallée et qui sera l'affaire de plusieurs générations* ». Ce discours clair et lucide permet de noter que ces barrages ne furent considérés que comme une première phase, suivie d'autres sur plusieurs générations pour arriver à un véritable progrès sous régional. Mais la maîtrise des eaux du fleuve pour l'irrigation du Delta a aussi nécessité des travaux d'endiguement. Celui de la rive droite Diama-Rosso a été réalisé en deux tranches de 1989 à 1995. Pour la partie sénégalaise, l'ancienne digue existante sur la rive gauche a été réhabilitée en deux tranches de travaux de 1993 à 1995 sur 80 km. Elle possède 10 ouvrages de réalimentations et surtout 8 ouvrages de franchissement hydraulique équipés de station de pompage indispensables à l'irrigation des périmètres irrigués.

A côté de ces ouvrages finalement réalisés, d'autres n'ont finalement pas vu le jour à cause, toujours, de réticences diverses (des bailleurs de fond et des pays riverains surtout) et sont restés à l'état de projets il s'agit du Canal de Cayor et de la remise en eau des Vallées Fossiles du Ferlo. En effet, dans le même discours du Président Diouf cité plus haut, celui-ci affirme que la construction des barrages n'est qu'une première partie et souligne largement l'état d'avancement jugé positif des études de faisabilité des deux projets. Le Canal du Cayor prévu pour coûter 113 milliards (moins que le projet d'électrification de Manantali à 223 milliards) aurait sans doute contribué à éviter les manques d'eau actuels à Dakar et l'utilisation abusive de la nappe des Niayes. La revitalisation des vallées fossiles aurait largement pu compenser l'assèchement du réseau hydrologique du Ferlo et réhabiliter les activités agroécologiques dans cette zone désaffectée du Nord du Sénégal aux portes du Delta (Carte 4). Actuellement, ces

projets toujours nécessaires sont remis sur la table par l'OLAC à travers le PREFERLO (Projet de Renforcement de la Résilience des Ecosystèmes dans le Ferlo).



Carte 4 : Situation hydrologique du lac et du Ferlo (OLAC, 2018)

Plusieurs projets et entreprises agricoles privés continuent d'installer dans le Delta des infrastructures hydro-agricoles de grande envergure avec une mise en valeur de **23 596 hectares** en 2017. Le tableau 13 reprend la liste des principales structures qui évoluent actuellement dans le Delta et sont regroupées dans une entité fédératrice, Vallagri (Association des Agro-industries de la Vallée).

Tableau 13 : les principales entreprises agricoles et agro-industrielles de Vallagri

Entreprise	Produit	Tonnage (t)	CA (FCFA)	Nombre d'emplois permanents	Nombre d'emplois saisonniers et journaliers	Investissement RSE
SCL	Légumes	35 299	14 003 000 000	242	4 414	40 000 000
CASL	Riz	26 500	2 000 000 000	175	110	65 000 000
SAFINA	Légumes	10 000	5 455 863 200	97	2 500	-
GDS	Fruits et Légumes	12 970	14 068 046 206	528	1 711	400 000 000
SOCAS	Tomate	35 299	9 700 000 000	112	29 109	-
WAF	Radis et Oignon	65 000	2 977 048 228	17	1 700	80 000 000
CSS	Sucre	127 506	108 550 792 509	1 490	6 048	300 000 000
TOTAL	Multiples	312 574	156 754 750 143	2 661	45 592	885 000 000

La SAED, société parapublique chargée de promouvoir l'agriculture irriguée paysanne a évolué à partir de 1965 sur des aménagements et infrastructures hérités de ses prédécesseurs (SDRS et OAD) ou héritées de l'époque coloniale. Elle a ensuite, durant près de 30 ans fortement augmenté ses infrastructures hydro-agricoles dans le cadre du PDRG (stations de pompage, barrages et ouvrages sur les axes hydrauliques, périmètres irrigués, rizeries...). Le PDRG (Programme de Développement de la Rive Gauche) est le cadre de référence de toutes les actions engagées dans la vallée jusqu'à l'an 2020. Ce programme visait 98 500 ha équipés en irrigation à l'horizon 2017 : 88 000 ha de cultures vivrières et fourragères (15%) et 10 500 ha de cultures industrielles de canne à sucre. Ces chiffres incluaient les 40 000 ha déjà aménagés pour les cultures vivrières irriguées en 1994. Sur la base de ces objectifs, la SAED vise à travers ces réalisations les points suivants :

- L'autosuffisance et la sécurité alimentaire des populations locales,
- La contribution à l'autosuffisance alimentaire du pays,
- L'amélioration des conditions de vie des populations en vue d'inverser le flux migratoire.

La SAED à travers ses Lettres de Mission (la 12eme en cours) a d'abord commencé par la création et la gestion totale de ces aménagements hydro-agricoles dits Grands Périmètres Irrigués surtout dans le Delta puis a progressivement évolué avec la NPA et le désengagement de l'Etat vers une forme d'appui et d'assistance technique envers les producteurs agricoles gestionnaires de leurs aménagements transférés. Actuellement, le rôle de la SAED consiste à :

- Commander des aménagements auprès de prestataires après avoir défini leurs normes et veiller à leur application
- Gérer les infrastructures hydro-agricoles en association avec les usagers
- Assister les communautés rurales dans l'établissement des plans d'affectation et d'occupation des sols et des plans d'aménagement foncier (POAS), l'élaboration des

plans de développement et la mise à leur disposition d'informations fournies par le SIG et les observatoires économiques et écologiques.

D'autres programmes parallèles ou connexes (PDMAS, MCA, PGIRE (Programme de Gestion Intégré des Ressources en Eau et de Développement des Usages Multiples du bassin du fleuve Sénégal), PRODAC (Programme des Domaines Agricoles Communautaires), PREFELAG (Projet de Restauration des Fonctions Ecologiques et Economiques du Lac de Guiers), PDIDAS en cours) ont développé des infrastructures fonctionnelles : pistes de production, hangars de stockage, station de pompage, périmètres et rizeries modernes, structures socio-éducatives dans tout le Delta. Mais eu égard au potentiel en présence, ces infrastructures sont largement insuffisantes pour asseoir partout une production familiale durable.

La SAED reconnaissait que plus de 60% des périmètres irrigués paysans sont exploités, en rive gauche, dans des conditions précaires ou ne présentant pas les conditions minimales d'exploitation (Classification des périmètres irrigués selon leur efficacité, SAED, 2000). La contrainte majeure dans le Delta soulignée à ce niveau est la faiblesse du niveau d'entretien, de maintenance et de renouvellement de ces infrastructures. La SAED a noté en 2009 les contraintes suivantes à la bonne gestion du FOMAED (Fonds de Maintenance des Adducteurs et Emissaires de Drainage) chargé de l'entretien et de la gestion des **7 adducteurs et émissaires** de drainage dans le Delta.

- La mise en place tardive des crédits destinés à la maintenance des adducteurs et émissaires de drainage et qui ne sont pas souvent à la hauteur des coûts normalisés,
- Le non démarrage de la formation des usagers ;
- Le manque de dynamisme des Comités des usagers ;
- Les difficultés dans la collecte de données pour la facturation ;
- Le niveau faible du recouvrement de la redevance FOMAED et l'absence de mesures coercitives à l'encontre des débiteurs ;
- La contribution de l'Etat n'a pas été effectuée comme prévue, ni à temps, ni à hauteur des prévisions ;
- La non mise en place d'une comptabilité analytique pour une meilleure imputation des ressources et des charges par activité

La cause profonde est ici liée à un défaut de règles collectives de gestion, particulièrement importantes et qui doivent faire l'objet d'un consensus social (Ostrom, 1992). Ostrom remarque que les systèmes irrigués viables et durables sont ceux où des règles cohérentes adaptées aux spécificités de chaque réseau ont été négociées et acceptées par les usagers et les techniciens. L'approche de gestion promue avec la NPA (Nouvelle Politique Agricole) et portant sur le transfert de cette gestion ne peut être réalisée durablement sans que les usagers ne payent au minimum l'ensemble des coûts récurrents du système. Sinon, le système irrigué est voué soit à dépendre éternellement des interventions extérieures, soit à une dégradation progressive (Ostrom, 1992). Nous reviendrons plus en détail dans la 3ème partie de la thèse sur des approches proposées de gestion et de maintenance participative et solidaire des infrastructures hydro-agricoles.

La grande majorité des infrastructures modernes viables actuellement développées dans le Delta le sont par les entreprises agricoles ou agro-industrielles privées (Annexe 2) et concernent

surtout les systèmes d'irrigation. Cette situation participe à la forte différenciation entre modèle agricole irrigué. Ces exploitations ou entreprises agro-industrielles ont équipé environ 22 000 ha de cultures irriguées dans le Delta (Sall, 2018).

IV. LES SYSTEMES D'IRRIGATION

Entre 1946 et 2020, les systèmes d'irrigation ont nettement évolué, depuis la culture de décrue en rive gauche jusqu'au système de goutte à goutte par pilotage électronique actuel. L'agriculture de décrue dans le Delta ne s'est pas aussitôt éteinte avec l'installation des barrages comme beaucoup le croit mais s'est progressivement réduite durant les années 1960 et 1970 avec la régularité des sécheresses, la baisse des crues et l'avancée régulière de la langue salée qui a rendu inculte plusieurs zones de décrue.

Plusieurs modèles de système d'irrigation se sont succédés ou côtoyés dans le Delta durant ces 60 dernières années : les réseaux d'irrigation en submersion contrôlée, submersion contrôlée améliorée, aménagement tertiaire avec maîtrise totale, irrigation à la raie par canal ou tuyau souple, en aspersion ou pivot et en micro-irrigation avec de nombreux degrés d'automatisation se sont succédés dans le Delta pour divers types de culture et de systèmes de production. Il est à noter que, contrairement à l'Office du Niger au Mali, l'irrigation de surface est non gravitaire dans le Delta car il n'existe quasiment aucune possibilité d'amenée gravitaire vers les unités naturelles d'équipement. Le plan d'eau ne domine nulle part les terres. Donc l'apport des eaux y est d'abord artificiel jusqu'aux canaux installés à la cote des terres à irriguer puis gravitaire depuis le canal principal jusqu'à la parcelle à irriguer (Juton, 1972).

Avec le retrait ou désengagement de la SAED après 1994, plusieurs attributaires de terres dans le Delta ont aménagé des PIV avec des canalisations en total déphasage avec le PDRG. Parfois ils ont même utilisé l'eau de drainage issue des autres aménagements (faute de moyens pour l'amenée d'eau ou d'éloignement de la source). Ceci a conduit logiquement à la salinisation rapide de ces terres, leur abandon et une forme d'agriculture itinérante. Plusieurs micro-jardins autour des périmètres agro-industriels fonctionnent jusqu'à présent sur ce modèle d'irrigation avec des risques pédologiques énormes. Ces dysfonctionnements agro-hydrauliques ont fortement accentué les contraintes environnementales dans le Delta et la dégradation de centaines d'hectares.

A la base, Kane (1997) souligne que les sols du Delta et de la basse vallée ont "une aptitude à l'irrigation moyenne à marginale" à cause des contraintes diverses soulignées (salinisation, acidification, perméabilité ou compaction). Il existe même beaucoup de zones du Delta totalement inaptées à l'irrigation du fait d'un défaut total de possibilité de drainage. Sur les sols relativement salés, on observe l'utilisation de systèmes à faible efficacité avec beaucoup d'eau lessivante alors que, sur les sols sableux dunaires, la tendance actuelle des entreprises agricoles est à l'aspersion ou à la micro-irrigation. En revanche, pour les petits exploitants la culture à la raie domine. La faible efficacité des systèmes d'irrigation constitue actuellement le plus grand frein à la modernisation des exploitations agricoles paysannes et le facteur majeur aggravant les conséquences environnementales. Un suivi des irrigations durant la campagne 1983/84 (dans le périmètre de Ndombo-Thiago) montre que 48% de l'eau pompée est perdue dans le réseau de

distribution avant la parcelle (Béye, 1985). On note une efficacité totale de 56% suite aux mesures effectuées en 1990 dans la cuvette de Pont-Gendarme (Raes et al, 1991).

Une étude comparative de trois modes d'irrigation fut entreprise entre 1968 et 1970 au niveau du périmètre expérimental de 120 ha de Richard Toll zone jugée représentative du Delta.

- **Irrigation par aspersion** : Une étude conjointe de bureaux d'études français (BCEOM, SOGREAH, SOGETHA) a porté sa préférence sur ce système et l'IRAT a mené des expérimentations dans ce sens. Les pertes en eau sont les plus faibles, de l'ordre de 6 à 8% par évaporation. On assiste à une diminution des besoins en pompage et en exhaure et le lessivage des sels est normalement facilité par la possibilité de moduler le débit horaire des asperseurs. Les besoins en main d'œuvre sont de l'ordre de 20 homme-jour/ha/an. Cependant, du fait de la répartition très inégale de l'eau d'irrigation apportée, due à des vents forts (vitesse allant de 4 à 9 m/s), et du fait qu'elle ne permettait donc pas un lessivage convenable des sels solubles, ce mode d'irrigation fut abandonné et l'irrigation à la raie fut retenue avec des corrections. Cependant sur les nouveaux projets modernes, on observe un retour de cette technique d'irrigation surtout sur les sols sableux du Diéri autour du Lac.
- **Irrigation de surface à la raie** : Elle fut menée par l'IRAT (Duc, 1971) sur le casier expérimental de 120 ha. La canne fut plantée sur les billons. Ce type d'irrigation a provoqué des pertes globales de 35% d'eau par rapport aux besoins de la culture. L'infiltration le long de la raie ne fut pas jugée homogène et, dans le cas des sols halomorphes ou à nappe salée peu profonde, l'alternance irrigation-évaporation a entraîné la concentration des sels sur le billon. L'alimentation en eau des raies est faite par des siphons en matière plastique d'environ 9 cm de diamètre (gros débit) qui va évoluer ensuite à 16 mm (débit faible à moyen). L'eau arrive dans le siphon grâce à une technique d'aspiration par sous-pression très connue qui consiste à plonger une extrémité du siphon dans le canal d'amenée et à l'autre un jeu de fermeture et d'ouverture de l'orifice par la paume permet à l'eau de monter dans le siphon (Photo 3 a). Cette opération peut être automatisée avec un dispositif sous basse pression de tuyaux souples connectés aux siphons d'irrigation (Photo 3 b).



(a)



(b)

Photo 3 : (a) Opérateur de l'amorçage manuel du siphon et (b) irrigation à la raie par tuyau souple (Sall, 2017)

- **Irrigation par semi-submersion** : les tests eurent lieu sur des parcelles de 3 à 4 ha entourées de diguettes. De bons résultats ont été obtenus pour le lessivage des sels. Elle exige moins de main d'œuvre que la raie : 35 homme-jour/ha/an contre 70 pour la raie. L'imperfection du planage a entraîné des stagnations d'eau préjudiciables aux jeunes cannes plantées. Les pertes globales sont estimées à 50% et cette technique n'est actuellement utilisée que dans le processus de lessivage des terres salées ou en riziculture.

Dès 1975, la CSS, avait tenté l'expérimentation de **l'irrigation au goutte à goutte** dans une petite zone de 24 ha très salée car la nappe phréatique y est à faible profondeur. Ce mode d'irrigation fut choisi car permettant une utilisation très réduite de l'eau. Le choix fut fait d'utiliser des goutteurs débitant 4 l/h, mais ce système nécessite une surveillance importante et une main d'œuvre qualifiée. Il a été abandonné en 1976 car les rendements prévus n'ont pas été atteints et les investissements ont été très lourds. Une série d'évolutions techniques a marqué à la CSS le choix du type de goutteur optimal (Tableau 14).

Le périmètre de la CSS est resté un site d'expérimentation car les pivots (rampes mobiles) implantés sur 100 ha (2X50 ha) dans la zone sablonneuse de Taouey seront remplacés à nouveau en 2002 par de la micro-irrigation avec cette fois ci un meilleur choix de sol, de matériel adapté (débit de goutteur de 2l/h puis 0,6l/h) et à des coûts abordables (Photo 4 et Photo 5). Cette extension fait suite à un autre essai mené dans le bloc H avec un sol relativement léger. Cette installation du système d'irrigation localisée sur sols légers se poursuit par l'implantation de 3200 ha à Bardial entre 2002 et 2017.

Tableau 14 : Evolution des types de goutteurs utilisés à la CSS depuis 2000

Année	Type goutteur	Débit goutteur	Nbre de Goutteurs /	m3/h	mm/h	Nbre Shift	Durée		mm/phase
							shift	phase	
2000	HYDRO PC 16	1,6	13333	21,33	2,10	4	2 h	30 mn	1,05
2003	HYDRO PC 17	1,35	22222	22,50	2,25	4	2 h	30 mn	1,12
2007	HYDRO PC 16	1,35	16667	30,00	3,00	6	2 h	20 mn	1,00
2012	DRIPNET 16	0,6	16667	10,00	1,00	2	2 h	60 mn	1,00
2016	DRIPNET 20	0,6	16835	10,10	1,01	2	2 h	60 mn	1,00



Photo 4 : Goutteur d'une ligne de micro-irrigation (Sall, 2017)



Photo 5 : Dispositif de filtration à la parcelle (Sall, 2017)

L'irrigation de surface à la raie (partie aval fermé) a été progressivement installée dans l'actuel périmètre de 8300 ha de la CSS. L'aménagement de cette zone s'est fait en trois phases principales :

- La conversion d'abord d'une partie du périmètre rizicole de la SDRS (le casier expérimental de 120 ha) en périmètre cannier en 1972
- L'extension progressive dans cette zone des surfaces aménagées et plantées de 1973 à 1988 que l'on dénomme grand casier et qui couvre plus de 6000 ha sur deux fermes.
- L'extension dans la zone de Khouma-Mbilor du nom des villages voisins de parcelles sur 1700 ha et appelé ferme 3 durant les années 1980.

Il existe actuellement, dans le Delta du fleuve Sénégal, toute une panoplie de systèmes d'irrigation, du plus archaïque (pas le moins efficient) au plus moderne (pas forcément plus efficient). La problématique concerne donc cette efficacité souvent trop faible des systèmes irrigués, en partie liée à l'inadaptation des techniques et des pratiques aux types de sols concernés.

V. LA RECHERCHE-DEVELOPPEMENT-VULGARISATION : DES ACQUIS TECHNIQUES FAIBLEMENT VULGARISES

Cette recherche est publique, au service des OPA, ou privée, intégrée dans les structures professionnelles à haute valeur ajoutée (cas de la CSS). Elle a débuté largement au début du 20^e siècle pour s'accélérer après la 2^e guerre mondiale afin d'aider à l'aménagement du bassin. C'est le fait essentiellement des centres français tropicaux (IRD ex-ORSTOM et CIRAD ex-IRAT) mais aussi la FAO, la Banque Mondiale et beaucoup de bureaux d'études (Tableau 15). Ceci a prévalu jusqu'à la création de l'ISRA puis de la SAED uniquement pour l'agriculture irriguée dans le Delta (toute la Vallée Rive Gauche plus tard). La recherche fut intense sur tous les aspects de la production agricole avec environ 7000 documents sur l'agriculture irriguée entre 1945 et 2016 mais faiblement ou peu vulgarisé sauf pour la SAED. Mais, comme déjà

souligné, elle n'a jamais pu vraiment convaincre les autorités coloniales de démarrer assez tôt l'aménagement du Delta. Il est vrai que cet aménagement a été, très tôt, jugé cher, plus cher en tout cas que l'aménagement totalement gravitaire à l'Office du Niger voisin pour la même source de budget (l'AOF).

Tableau 15 : Historique des premières études réalisées dans la zone d'étude (Béye et al, 1988)

Date	Organisme	Chercheurs	Objets de l'étude
1960	MAS	Equipe	Dimensionnement des aménagements rizicoles
1965	IRAT/FAO	Shoch	Relations plante-eau : ETP, stations agro-météo
1969	IRAT/FAO	Ridders	
1970	IRAT/FAO	Rijks	
1969	IRAT	Mutsars	Drainage sols
1969	IRAT	Equipe	Relations sol-eau
1968	FAO	Equipe	Carte des sols et des RU
1970	IRAT	Duc	Drains enterrés
1970	IRAT	Duc et Gillet	Drainage par fossés ouverts
1972	IRAT	Duc	Relation plante-eau
1976		Taylor	Lessivage sols halomorphes

Sur le plan agro-climato-pédologique, Jamin (1997) expose une synthèse très complète de ce qui s'est fait durant presque 30 ans en recherche appliquée surtout en riziculture dans la Vallée et même en pluvial. En 2009, la SAED a publié une synthèse des résultats des expérimentations et des tests menés sur plusieurs spéculations de l'agriculture irriguée. L'analyse de ces synthèses laisse clairement entrevoir tout le potentiel agronomique non exploité dans la Vallée et surtout le Delta.

Les années 1990 ont vu l'émergence de concepts proposant une recherche collaborative entre des structures sénégalaises et étrangères dans le Delta (et toute la Vallée) en fonction des priorités données par les pays partenaires. Le Pôle Systèmes Irrigués a œuvré pour la recherche dans l'amélioration des performances sur l'agriculture irriguée entre l'ISRA, le CORAF (Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricole), le CIRAD et la SAED. Le projet Gestion de l'Eau entre la SAED et le KU Leuven a beaucoup travaillé sur les aspects de bilans hydriques et de connaissance de la nappe salée et on note une forme de continuité de la coopération belge avec le projet d'appui de WBI à la SAED sur ces mêmes thématiques. La JICA avec son projet PAPRIZ (2010-2014) déroulé avec la SAED cherche à moderniser la riziculture par des approches innovantes comme beaucoup d'autres partenaires internationaux après les chocs sociaux de 2008. Plus récemment l'Université de Liège travaille avec la SAED et la DGPRE (Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau) sur l'appui au PAGIRE (Plan de Gestion Intégré des Ressources en Eau) et la recherche de référentiels techniques pour une bonne maîtrise de la gestion de l'eau. L'ISRA collabore avec quasiment toutes les autres structures de recherche comme organe national central dédié à la recherche officielle et disposant de stations dont 2 dans le Delta (essais, homologation, bilans, sélection).

Plusieurs structures publiques ou privées, nationales ou sous régionale œuvrent actuellement dans ce domaine dans le Delta :

- ✓ Africa-Rice Ex ADRAO : la structure sous régionale totalement axée sur la riziculture irriguée et dont le centre se situe en plein milieu du Delta, à Ndiaye. Elle dispose d'un haut potentiel de recherche avec des cadres hautement qualifiés, du matériel de recherche moderne et un soutien clair des Etats et des bailleurs
- ✓ OLAC et SAED : nouvelle structure dans le Delta (ex OLAG) axé d'abord autour du Lac de Guiers et très engagés sur le suivi et la recherche sur la qualité de l'eau et le développement intégré de l'agriculture. Ses projets majeurs PREFELAC et PREFERLO sont des axes majeurs de développement global de la zone allant du Diéri au Ferlo. La SAED est la principale structure de vulgarisation et d'encadrement des producteurs agricoles dans le Delta.
- ✓ Les grandes entreprises privées agricoles, dont surtout la CSS, disposent de grosses bases de données sur tous les aspects climat, sols, eaux et production agricoles à travers un gros département R/D. Mis à part l'ISRA et les Universités partenaires, rares sont les partenariats entre elles et les structures de recherche pures.
- ✓ L'ISRA : Structure Nationale de Recherche Scientifique. Dispose d'antennes partout dans le pays et donc dans la zone du Delta. Collabore avec les agro-industriels (homologation officielle de nouveaux produits chimiques) et les autres structures de recherche
- ✓ Les universités nationales (UCAD, Thiès et UGB) seules ou dans des partenariats (IRD, ISRA, CIRAD) travaillent sur des sujets d'intérêt général majeurs en lien avec l'agriculture irriguées depuis leur création.

Le constat lucide à faire de cette situation est la multiplicité d'origine et d'idéologie des intervenants et la discontinuité des travaux, menés pour l'essentiel sur des financements extérieurs malgré la mise en place de l'ISRA en 1972 (Jamin, 1993). La problématique soulevée reste l'insuffisance d'opérationnalisation rentable des résultats et le lien évident qu'il faudra trouver entre toutes ces données pour que les exploitations familiales ruraux puissent accéder et bénéficier rapidement des résultats de la R/D. Elles pourront ensuite l'appliquer correctement (moyens didactiques, investissements, formation continue). Ces points seront traités dans des chapitres des 1^o et 3^o parties.

VI. LA GESTION DU FONCIER RURAL : UN FACTEUR BLOQUANT DE L'INVESTISSEMENT AGRICOLE

Le Delta s'étend sur 250 000 ha et dispose globalement d'environ 150 000 ha de potentiel cultivables dont 20 000 ha jugés incultes (par salinisation et sodisation). La difficile recherche d'une répartition équilibrée et équitable du rural foncier mobilise beaucoup les esprits dans la zone du Delta, comme dans la zone sahélienne toute entière. Elle est d'abord due à la multiplicité des acteurs aux intérêts parfois concurrents, à la pression démographique dans certains endroits mais surtout à la valeur marchande de plus en plus importante que revêt la terre arable localisée près des sources d'eau dans le monde entier. La terre reste encore un bien spécial qui fait l'objet de convoitise mais surtout un puissant levier de développement.

Le régime foncier au Sénégal a été toujours un grand chantier permanent. A la suite de l'indépendance, l'Etat a mis, à la place du système coutumier local, une loi sur le foncier national avec un régime juridique des terres qui s'organisent désormais autour de trois catégories : le domaine de l'Etat (subdivisé en domaine public et en domaine national) et le domaine privé des particuliers, objet de titres fonciers. La loi sur le domaine national a instauré la nationalisation des terres sous une vision socialiste dans sa gestion avec la création des zones suivantes : urbaines, terroirs, classées et pionnières. Ainsi, 95 % des terres agricoles appartiennent au domaine national. Les populations rurales qui les exploitent ne sont que de simples bénéficiaires d'un droit d'affectation et s'exposent à sa remise en cause possible à tout moment par l'Etat ou la communauté rurale pour des raisons d'intérêt public (Faye et al, 2007).

En 1972, suite à la gestion jugée abusive de terres du domaine national surtout des zones de terroir d'un préfet à Bignona, furent alors créées **les communautés rurales** chargées de gérer les terres du domaine national sous leur juridiction. Le président de conseil rural (organe qui gère la communauté rurale), notable et élu local sous couvert de l'administration centrale, d'un parti politique, de l'élite locale et des acteurs ruraux, se trouve alors être le centre de décision principal. C'est un pari certes démocratique, qui a généré forcément des réussites (beaucoup d'acteurs du terroir associés) comme des biais et de échecs à cause du clivage possible et des intérêts partisans des leaders mis au-dessus des intérêts de la communauté (Enda, 1986).

Cette réorganisation a permis cependant de limiter la dépendance de beaucoup de familles vis-à-vis de quelques notables mais aussi à de disposer d'une assiette foncière pour enclencher des projets de développement irrigués publiques et privés (Seck, 2016). C'est cette dernière option qui a aidé à développer la grande agriculture irriguée dans le Delta avec cependant des disfonctionnements récurrents.

Faye (2007) note que dans le Delta, les conseils ruraux ont procédé, au début des années 2000, à des attributions massives de terres à de nouveaux acteurs fonctionnaires, anciens salariés licenciés, hommes politiques, etc. Ceux-ci ont, grâce au crédit agricole octroyé, réalisé des aménagements sommaires de plusieurs hectares et se sont lancés dans l'agriculture d'entreprise pour la plupart sans capitaux suffisants et sans réelle compétence technique pour la plupart. Presque tous ont abandonné. La zone du Delta a échappé aux phénomènes d'acquisitions foncières massives par de grandes sociétés privées et des Etats étrangers à partir de 2008 souligné par Brondeau (2011) bien que des malversations aient été entreprises dans la Communauté Rurale de Mbane. Si la législation foncière est appliquée de façon moins rigide dans le Delta que dans le bassin arachidier ou le sud du Sénégal, il n'y a pas encore ce qu'on pourrait appeler un marché foncier, même illégal. L'importance des investissements nécessaires à l'entrée et les coûts de production des systèmes irrigués motorisés découragent sans doute les éventuels candidats à l'agriculture d'entreprise.

L'Etat et tous les acteurs de la zone sont d'accord qu'une nouvelle réforme du foncier serait bénéfique mais des désaccords subsistent sur les modèles régulièrement proposés. La solution pourrait être la prise en compte les avantages comparatifs de la majorité concernée (les paysans autochtones) et de promouvoir la sécurisation des terres exploitées par l'agriculture familiale conciliée à un accueil conditionné des investisseurs à travers un partenariat gagnant-gagnant

avec les populations locales et/ou les détenteurs de terres. Des structures privées ont réussi ce modèle plus ou moins bien (CSS, West African Farm, CASL) et pourraient servir d'exemple.

Au niveau de la SAED, principale structure d'appui à la production agricole irriguée familiale dans le Delta, des avancées majeures ont été obtenues à travers l'élaboration et la mise en place des Plans d'Occupation et d'Affectation des Sols (POAS) des communautés rurales (CR) et la Charte du Domaine Irrigué (CDI) qui concerne l'ensemble de la Vallée. Les POAS (31 réalisations en 2010) constituent des outils simples, bâtis sur la concertation et basés sur une excellente méthodologie. Ils peuvent servir de guide à la planification et aider à organiser la gestion de l'assiette foncière disponible au niveau des communautés rurales. Mais ils se révèlent insuffisants pour encadrer la distribution rationnelle et équitable du foncier.

La Charte du domaine Irrigué est un autre outil né de multiples concertations et discussions à l'échelle de la vallée du fleuve Sénégal, entre la SAED, les usagers (organisations d'agriculteurs, entreprises agricoles privées), les collectivités locales (conseils régionaux, municipaux, associations départementales et régionales des conseillers ruraux), l'administration territoriale, les services techniques et les autres structures d'appui (SAED, 2009). C'est le produit d'un consensus sur les conditions d'installation et d'utilisation du domaine irrigué et qui finalement a fait l'objet d'un arrêté du premier ministre en 2007. Elle a deux composantes dont la plus importante est un texte, qui établit des règles de base de l'aménagement et de mise en valeur du Domaine Irrigué et oblige **les attributaires à participer à la maintenance** des infrastructures, et **l'Etat à assurer la disponibilité de l'eau, les conditions de drainage efficient**, le suivi de l'état des ressources entre autres. Ces deux outils et d'autres aussi opérationnels au niveau des agro-industries devraient aider à renforcer l'investissement ciblé et productif dans l'agriculture irriguée du Delta.

Les mêmes outils ont été promus et améliorés dans le cadre du MCA, le projet financé par l'USAID entre 2012 et 2015. Le projet a proposé sur environ 48 000 ha du Delta un modèle construit dans le cadre du CDI sur une approche GIRE et centré autour de 4 piliers (Diouf, MCA, 2015) :

- Une mise en cohérence des trois Piliers de la Sécurisation foncière (Acteurs- Espace Outils)
- Avec un objectif principal de bonne gouvernance foncière locale
- Source d'un développement agricole équilibré à travers une complémentarité entre exploitation familiale et investissements privés
- Fondée sur la transparence et l'équité dans l'accès des terres guidée par la mise en place d'un cadre institutionnel et d'un processus transparent de gestion des terres avec des outils adaptés incluant les POAS, un Système d'Information Foncier et des SIG.

Cette approche de gestion foncière et qui devrait être étendue à toutes les ressources naturelles sera un point majeur de la 3eme partie de la thèse.

VII. LES MIGRATIONS AUTOUR DU DELTA

L'histoire du Sénégal révèle l'existence de migrations anciennes des populations. Elles ont eu lieu des anciens royaumes du Mali actuel vers les vallées ayant leur embouchure sur l'océan

atlantique (fleuves Sénégal, du Sine, du Saloum, de la Gambie et de la Casamance), du fleuve Sénégal vers le centre et le sud du territoire (Faye et al, 2007). D'autres formes de migrations vont aussi apparaître avec l'installation des colons français au 19^e siècle (Saint Louis, Richard Toll) puis des colons sénégalais au 20^e siècle (Colonat, Kassack). Maintenant et depuis plus de 40 ans, des actifs agricoles employés dans les entreprises agricoles privées convergent de plus en plus nombreux vers les centres agro-industriels (environ 17 000 employés venus de toute la sous-région). La population a été multipliée par 20 dans des agglomérations comme Richard Toll marquée par l'installation dans sa zone de la première grosse agro-industrie. Les sévères sécheresses successives suivies de famines ou de précarité ont elles largement été la cause de diverses migrations des zones ruraux du fleuve vers les centres urbains et l'Europe

Jusqu'au début des années 1960 le Delta était une zone peu peuplée (Dia, 1986) avec, comme principales ethnies les wolofs, les maures et les peuls. Les principaux mouvements de populations furent d'abord l'immigration des français surtout à Saint Louis et Richard Toll avec environ 6 000 ressortissants en 1960 à 820 en 1983. Nous avons ensuite l'immigration organisée par l'administration coloniale appelé *Colonat* et qui devait servir à occuper et cultiver des terres le long du fleuve. Le premier projet de colonisation agricole en 1968 a été installé à Diovol-Colonat avec l'arrivée de 1800 familles venues de tout le Sénégal.

C'est ainsi que plusieurs villages vont voir le jour dans cette zone (Kassack, Ronkh, Colonat...) avec l'apparition progressive des ethnies d'autres zones du pays (sérères, diolas, toucouleurs). Entre 1976 et 1982 le bilan démographique a évolué dans le Delta de 1400 personnes naturellement et de 8500 personnes immigrées (Dia, 1986). Une agglomération comme Richard Toll, centre névralgique du Delta va évoluer de 1000 personne en 1947 à 120 000 personnes en 2015. Cette situation est rendue possible par le fait que la pratique de l'irrigation à grande échelle (cas de la CSS) est fortement consommatrice de main d'œuvre avec un niveau de formation de base très faible.

Cette politique migratoire voulue et organisée par les politiques devait permettre de booster la culture irriguée sur 30 000 ha et résorber le déficit vivrier rizicole du pays. Par la suite, les conflits politiques et sociaux entre le Sénégal et la Mauritanie (qui partage ce fleuve comme frontière) s'est soldé par des échanges massifs de populations surtout vers la Vallée du fleuve sénégalaise avec l'arrivée en 1994 de plus de 25 000 réfugiés politiques déclarés et pris en charge. Les dernières vagues d'immigration concerne les ouvriers agricoles venant de tout le pays et même de la sous-région, employés dans les entreprises agricoles de plus en plus nombreuses dans la zone et qui place actuellement le Delta comme la principale pourvoyeuse d'emplois salariés agricoles au Sénégal (Sall, 2016).

VIII. EVOLUTION DU MODELE ECONOMIQUE NATIONAL, BASE DES DECISIONS ET ACTIONS

Le modèle économique au Sénégal a toujours épousé les projets de sociétés et les politiques de développement national et non les idéologies pures des partis politiques au pouvoir depuis la fin de la colonisation :

- D'abord nous avons vu une colonie, le Sénégal sous budget commun avec les autres dépendances françaises (AOF) avec un Etat tuteur fort capitaliste, libéral mais jaloux et

seul partenaire de ses colonies avec une monnaie commune (le Franc français) mais des arbitrages à faire entre colonies dans le monde entier en termes d'investissement ce qui explique en partie le retard de nombreux projets dans la Vallée, comparé à l'aménagement autour du Fleuve Niger.

- Puis une période post indépendance avec une relative autonomie de décision (pas totale), une économie plaquée sur le modèle français donc inadaptée à une économie naissante et structurellement fragile, une monnaie sous tutelle (CFA) et donc une marge d'actions faible en termes d'investissements et un niveau de formation faible et inadapté de nos élites (formation administrative essentiellement).
- Ensuite une sortie lente de la tutelle politico-économique française avec la même monnaie dévaluée à 100% afin de mieux cadrer avec notre potentiel réel sur le plan international et de booster notre intégration à l'économie mondialisée accompagnée de politiques d'ajustements structurels douloureux car principalement axées sur un désengagement de l'Etat et qui ont mis à genou une économie nullement préparée.
- Enfin une période de redressement lente et chaotique qui continue jusqu'à présent avec des politiques de correction socio-économiques pseudo libérales et une implication différente mais souhaitée de l'Etat dans tous les secteurs économiques. Elles sont à notre avis les seules aptes à corriger les dysfonctionnements structurels de notre économie trop informelle qu'il faut cependant intégrer rapidement à l'économie de marché surtout en termes de compétitivité.

Il y a trois étapes dans les politiques de régulation des marchés agricoles au Sénégal indépendant :

- 1960-1980 : période des filières agricoles administrées marquée par des Politiques Agricoles avec un modèle interventionniste et socialiste
- 1980-2000 : Programme d'ajustement et libéralisation et un retrait progressif de l'Etat.
- 2000 à nos jours : Retour de l'Etat dans la régulation des marchés agricoles avec la création des Agences, le regain des subventions et les programmes publics de développement agricole (REVA, ANIDA, PRODAC).

Une étude complète est nécessaire sur l'évolution des indicateurs macro-économiques et celui sur la pauvreté (Le taux de pauvreté atteint 46,7 % selon les dernières estimations de la BM en 2017). Cette pauvreté baisse en pourcentage mais du fait de la croissance de la population, augmente en nombre absolu dans le Delta. Cette étude sera liée à plusieurs secteurs d'activité dont l'agriculture irriguée et mérite d'être conduite en complément à cette analyse partielle. Néanmoins nous pouvons déjà noter les conséquences socio-économiques suivantes :

- A. Les conséquences des politiques agricoles sur les exploitations rurales : endettement, sous mécanisation, faiblesse de l'intensité de l'activité (simple culture, abandon de surfaces...), baisse de la fertilité et des productions à cause du manque d'intrants et de la salinité, capital semencier de faible qualité et/ou non renouvelé.
- B. Les diverses sources de revenus (agricoles et non agricoles) : production vivrière commercialisée, élevage (lait surtout), pêche artisanale, emploi salarié agricole, 2°

métier informels (cochers, taximan, gardiens...), argent envoyé par les parents émigrés en Occident ou à Dakar, commerce de produits frauduleux.

CHAPITRE 4 :

Les deux principaux systèmes de productions dans le Delta et leurs évolutions possibles à court et moyen terme

I. SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS OBSERVES

La longue liste des données obtenues de notre analyse bibliographique est résumée dans le tableau synthétique récapitulatif (Annexe 3). L'agencement chronologique puis thématique des événements, nous ont permis de sérier les potentialités et réussites face aux contraintes et échecs dans l'agriculture irriguée dans cette zone. Les potentialités et contraintes (Tableau 16) ont évolué depuis la période post coloniale et sont les marqueurs dynamiques des caractéristiques de la production irriguée dans les zones sous-développées ou en voie de développement.

Tableau 16 : Synthèse historique des potentialités et contraintes dans le Delta

Périodes	Moyen Age-coloniale	PréColoniale	Post colonie-1984	1984-1994	1994-2008	2008-Maintenant
Potentialités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Culture vivrière de décrue sur de grandes surfaces fertiles ▪ Royaumes prospères 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apports de nouvelles technologies de l'Occident ▪ Introduction de la maîtrise de l'eau agricole 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pays neuf à construire sur des bases stables ▪ Population jeune et de plus en plus formée ▪ Terres fertiles et en quantité ▪ Aides publiques au développement ▪ Eau agricole douce de qualité partout ▪ Grand marché de la sous-région ▪ Baisse des prix des énergies fossiles ▪ Baisse de la poussée de certaines maladies 			
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Guerres tribales ▪ Esclavages maures puis européens ▪ Aucune infrastructure ▪ Terres et nappes salées 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Soumission à l'autorité coloniale ▪ Toute l'économie orientée vers les besoins de la métropole 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organisation économique déficiente ▪ Insuffisances investissements agriculture ▪ Manque de coordination des politiques ▪ Enherbement croissant des plans d'eau ▪ Nappes salées hautes ▪ Accords internationaux trop libéraux ▪ Qualité et devenir des eaux résiduelles ▪ Diktat de certains partenaires au développement ▪ Monnaie trop forte pour exportations 			

De cette analyse bibliographique, il ressort principalement que le Delta du fleuve Sénégal a d'importantes potentialités mais aussi des faiblesses structurelles et endémiques. Ces potentialités n'ont évolué positivement que ces 20 dernières années et sont devenues tout aussi importantes que les faiblesses persistantes malgré les actions politiques entreprises ces 50 dernières années. Heureusement la plus grande partie de ces faiblesses ne sont pas insurmontables et peuvent diminuer rapidement si des choix politiques réfléchis et stratégiques sont effectués.

Tableau 17 : Synthèse historique des Réussites et Echecs dans le Delta

Périodes	MA- Pré coloniale	Coloniale	Post colonie-1984	1984-1994	1994-2008	2008-Maintenant
Réussites	Autosuffisance ou sécurité alimentaire	Infrastructures de base Forte recherche scientifique	Mise en place d'organismes et d'infrastructures Création d'entreprises nationales	Mise en place des grands barrages Orientation des lois et programmes Emplois agricoles	Incitation à l'initiative privée Développement des agro-industries Valorisation des productions locales	Organisations paysannes solides d'accompagnement à l'agriculture Systèmes d'irrigation modernes introduits
Echecs	Baisse de la population Retard de développement général	Politique de la monoculture arachide Faiblesses investissements dans la vallée	Pas de continuité de l'embryon d'économie Base de formation insuffisante et trop orienté en administration	Politiques d'ajustement Dévaluation monnaie Pauvreté endémique Echec institutionnel de l'agriculture irriguée	Crises économiques, énergétiques, sociales Conflits et impasse sur le foncier	Pas de Protection des filières Endettement continu suite investissements importants non rentabilisés Faible gestion intégrée des eaux et sols Pas suffisamment de productions agricoles

Pour le moment, les échecs observés dans le développement hydro-agricole du Delta sont largement supérieurs aux réussites et cela pour plusieurs raisons (Tableau 17). D'abord parce que le Sénégal n'a pas pu lever, ces 50 dernières années, beaucoup de contraintes et de faiblesses structurelles observées. Hormis l'installation des barrages qui ont freiné la remontée possible de la langue salée, régulé durablement l'hydraulique du fleuve et généré assez d'eau douce apte à irriguer potentiellement des milliers d'hectares en plus, les réussites se comptent sur le bout des doigts. Elles sont encore trop théoriques (forte recherche agro-hydro-climatique de la zone non encore réellement exploitée avec sûrement autour de 7000 écrits en 2016. Maiga (1976) en avait identifié environ 3500. Ces réussites sont aussi ou trop localisés (agro-industries et emploi agricole, entreprises agricoles familiales...) ou trop fragiles (dynamique d'amélioration de l'irrigation, incitation à l'initiative privée). Le PDRG qui est l'instrument directeur de développement de la vallée reconnaît même en 1994 l'échec des politiques d'investissements et de production irriguée dans la Vallée (Adam, 2001).

Les échecs sont multiples. Faye (2007) souligne que la cause profonde de ces mauvaises performances de l'agriculture sénégalaise est le décalage, sinon les contradictions, entre les politiques agricoles publiques et les réalités et les stratégies des producteurs agricoles. Beaucoup d'échecs ont eu lieu à la suite de politiques hasardeuses ou opportunistes (colonisation et mono culture arachide), de politiques imposées et non préparées (ajustement structurel, dévaluation de la monnaie), d'une mauvaise gestion interne des projets et programmes nationaux de développement (endettement lourd qui plombe les investissements, crise énergétique) mais aussi de facteurs faiblement maîtrisables (esclavage, colonisation, choc pétrolier, volatilités des prix des denrées alimentaires, ...). Le premier vrai échec de la politique de modernisation de l'agriculture et surtout rizicole dans le Delta reste le projet de la SDRS à Richard Toll. Nesterenko (cité par Tourte, 2005), dans son rapport à la fin des années 1950 souligne les points suivants comme facteurs principaux à l'époque qui sont venus compromettre la rentabilité de la riziculture sur le périmètre de 6000 ha à Richard Toll :

- L'absence d'un fond de roulement suffisant pour faire face aux charges de production ;
- Les invasions des oiseaux granivores mange-mil qui font des dégâts énormes (lutte efficace à partir de 1959 seulement) ;
- Le défaut de récolte à temps, de transport et de stockage corrects du riz (insuffisance des infrastructures).

Les problèmes listés par Nesterenko en 1959 sont récurrents et n'ont jamais pu être correctement solutionnés partout et de manière durable car ils sont encore présents en 2018 dans beaucoup d'exploitations agricoles du Delta.

Nesterenko a aussi souligné un fait majeur : le coût de revient de la production du riz de la Vallée arrivé à Dakar comparé à celui importé aux prix cours mondial. Ce riz importé 100% brisé de Thaïlande est souvent un produit bas de gamme (voire un déchet d'usinage) issu du riz entier haut de gamme. Il est produit dans des conditions largement plus favorables, dans ces zones à forte pluviosité, dans des terres plus fertiles, avec de meilleurs rendements, avec donc un prix de vente international largement plus attractif. Le riz local, moyen gamme n'a jamais pu rivaliser avec le riz importé. Ceci a voulu être corrigé par l'Etat. Durant très longtemps, la Caisse de Péréquation et de Stabilisation des Prix (CPSP) a été instituée pour instaurer une péréquation sur le prix de ce riz importé et aider « au financement en contrepartie de la filière

locale » à travers l'appui à la SAED et la subvention du prix à la vente du riz local. Chaque année ce sont entre 17 et 18 milliards qui étaient collectés (péréquation, taxe, dédouanement) et seulement 4 milliards réellement retournés à la filière rizicole locale (subvention du prix de vente, fonctionnement de la SAED et investissements sur les aménagements), le reste (13 à 14 milliards/an) capté par le TOFE (Tableaux des Opérations Financières de l'Etat) au détriment de l'agriculture irriguée en général. Les intérêts à court terme de l'Etat n'ont pas été concordants avec ceux des riziculteurs à cours, moyen et long terme (Wackermann, 1993). Voici donc des choix et orientations institutionnels qui ont créé un manque à gagner considérable qui aurait certainement permis de booster cette filière et de financer sur fonds propres des extensions d'aménagements sans recourir au dons, subventions et prêts internationaux.

La commercialisation est restée longtemps un frein évident au développement de la filière rizicole au Sénégal. Après la production record de 300 000 tonnes de paddy en 2016, le DG de la SAED « voit dans cette performance les résultats des efforts combinés de sa compagnie, des organisations paysannes et des institutions comme Africa Rice. Il indique qu'un autre grand défi reste à relever. Car on ne trouve plus de salles de classe et de magasins pour stocker le paddy ; la commercialisation reste le grand défi à relever pour boucler la campagne de production rizicole de contre-saison chaude 2016 en apothéose. Aussi, les opérateurs économiques doivent se rapprocher des riziers dans les plus brefs délais en vue de réfléchir avec eux sur les voies et moyens à mettre en œuvre pour apporter les solutions les plus adéquates à cet épineux problème de commercialisation du riz de la vallée. Nous avons une production de qualité qui n'a rien à envier au riz importé », Samba Kanté, DG SAED, AfricaTime Sénégal, 31/08/2017. Ce discours éloquent révèle une série de dysfonctionnements alarmants car le DG lance à l'endroit des commerçants un cri d'alarme, et ceci largement après le stockage de la production dans des conditions non conformes. Lui comme les producteurs sont démunis. Si, encore en 2017, la filière avait besoin de ce discours pour vendre sa production c'est bien clair qu'elle est mal structurée ou pas encore assez fonctionnelle et viable et l'intensification comme les extensions de surface vont être plus des équations que des solutions.

Mais ce qui pose le plus problème est surtout le coût exorbitant des investissements pas suffisamment rentabilisés que personne ne peut exprimer clairement au vu de longue période, de la multiplicité des acteurs, des bailleurs et des projets. Les seuls barrages ont coûté plus de 210 milliards francs CFA actuels et il y a eu 15 ans entre les études et la mise en service ; la SAED travaillait dans les années 90 avec pas moins de 15 bailleurs différents dans des zones distinctes et a dû investir à elle seule plus de 500 milliards durant ces 8 lettres de mission ; le MCA : 160 milliards ; la CSS a investi en presque 50 ans plus de 350 milliards ; au total plus de 1000 milliards pour ces 3 structures sans compter toutes les autres structures de recherche d'appui ou de production (les endiguements et ouvrages de l'OMVS, OLAG, IRD, UE, AFD, autres agro-industries, privés locaux.....).

La non efficacité d'une partie de ces sommes s'explique par l'échec du financement de la production durant de longues années. Les bailleurs de fonds, en même temps que les financements d'investissements, ont logé des fonds revolving au niveau des institutions de financement locaux (CNCAS et FED-PME) afin d'aider aux besoins productifs. Il y avait une logique intéressante de financement participatif dans la mesure où ces fonds perdus sont alloués

par les institutions locales de financement (utilisés comme relais) aux groupements paysans sous forme de crédits remboursables. Puis, en fonction des remboursements paysans, les institutions locales de financement auraient pu accorder de nouveaux crédits, et le principe reconduit à l'infini. Sauf que le processus a dérapé, grandement facilitée par un faible taux de recouvrement et la complicité de beaucoup d'acteurs de la chaîne (agents de l'encadrement, fournisseurs, communautés rurales, paysans) ce qui a généré un non remboursement continu des crédits alloués à l'agriculture irriguée. Chaque maillon du système de production s'est fait remarquer par des comportements en affaires très peu soucieux de l'avenir de l'agriculture irriguée au Sénégal. La plupart des emprunteurs se sont naturellement organisés (GIE) pour consommer l'argent le plus rapidement possible au lieu de l'investir productivement, comme prévu initialement (Wackermann, 1993). A ce niveau donc une gouvernance insuffisante et des dysfonctionnements du système de financement ont porté préjudice au système de production.

Les coûts d'aménagement ont été souvent jugés trop élevés et pas facile à amortir (800 000 FCFA/ha à 4 000 000 FCFA/ha sur les Grands Aménagements). Les charges d'exploitation aussi variant de 165 000 à 220 000 FCFA/ha (OMVS, 1984). Même la redevance sur l'eau de l'OMVS qui était censée contribuer à amortir les coûts d'installation et de fonctionnement des barrages à hauteur de 26% n'a jamais dépassé 5% du budget global de la SOGED et avec surtout 75% de cette somme payée par les agro-industriels (OMVS, 2015).

Ces coûts ont été vraiment mal compris lors des opérations et processus de réhabilitation des périmètres irrigués au début des années 1990 avant désengagement et transfert vers les OPA (qualifiés même de corrections d'erreurs d'aménagement) : la réhabilitation d'environ 9000 ha dans le Delta avant transfert a coûté environ 25 milliards de FCFA actuel soit des coûts à l'hectare entre 50 et 100% des coûts initiaux de réalisation selon les projections de la SAED (Projet Campus, 1993). Quel est l'intérêt de réhabiliter un périmètre si cela coûte aussi cher que d'en réaliser un autre ? Surtout pour aussitôt le transférer à des organisations pas du tout prêtes à assumer le fonctionnement et l'entretien des installations. Et dans un contexte où les facteurs dégradants (salinité, faible drainage, érosion, sédimentation, végétaux aquatiques) ne sont pas encore maîtrisés dans les ouvrages transférés.

Ces échecs doivent néanmoins être appréhendés comme des leçons et servir de point de départ pour un renouveau sur les prochains choix politiques, techniques et économiques qui doivent guider une inversion durable de la situation.

II. CARACTERISATION DES DEUX PRINCIPAUX SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE IRRIGUEE DANS LE DELTA.

Les types d'aménagement observés sont intimement liés aux systèmes de production : aménagements sommaires, simplifiés ou sans réseau de drainage et faible mécanisation pour l'agriculture familiale et systèmes intégrés perfectionnés avec réseau de drainage et forte mécanisation sur les exploitations agricoles privées (industrielles ou pas). Cette situation technique de différenciation est souvent associée à plusieurs autres facteurs non moins importants :

- Modèle de management : entrepreneurial ou familial
- Capacité financière d'investissement et de roulement

- Structuration des filières et capacités d'intégration aux marchés (nationaux, régionaux ou internationaux)
- Modèle de gestion : formel ou informel

Tous ces facteurs une fois synthétisés permettent de simplifier encore la typologie des exploitations agricoles dégagée par le SDAR de Ndiaye et donc d'arriver à **deux principaux modes de production agricole irriguée dans le Delta** :

- ✓ Les systèmes de production à base d'exploitations agricoles privées de moyenne ou grande taille et entreprises agro-industrielles (10 à 10 000 ha).
- ✓ Les systèmes de production à base d'exploitations agricoles paysannes publiques ou privées (dites familiales) de moyenne à petite taille (0,5 à 10 ha) sur des filières locales et/ou faiblement structurées.

Toute la suite du document notre raisonnement se fera en se basant dorénavant sur cette typologie. Ces deux modèles de production agricole irriguée mis en évidence dans le Delta que sont les entreprises agricoles et agro-industrielles et les exploitations familiales rurales évoluent de manière fortement différenciée dans des contextes de production et des filières totalement différents. C'est une situation assez normale dans la mesure où ce développement contrasté découle :

- De choix politiques de départ dans l'organisation des filières,
- Du modèle de fonctionnement de ces structures (formel et informel)
- Et surtout du niveau d'investissements consentis

Les systèmes de culture qui ont dominé depuis plus de 50 ans dans ces modèles de production sont essentiellement :

- La monoculture de riz en simple ou double culture sur plus de 85% de la superficie du Delta en industriel (CASL) semi industriel (privé moyen) et en paysannat.
- La monoculture de la canne à sucre en culture annuelle intensive sur actuellement 11 300 ha.
- L'horticulture essentiellement axée sur des cultures d'exportation et ensuite l'oignon, la tomate industrielle, quelques légumes tropicaux par les exploitants privés de tous types et de toutes tailles.

Pourtant plusieurs structures de recherche ont œuvré pour valider des projets de recherche sur des dizaines de spéculations rapportées par une étude de la GERSAR (GERSAR, 1982) à travers le SDA de la Rive Gauche et complétées par les résultats du projet de diversification agricole de la CSS (CSS, 2017) :

- Programme à court et moyen terme (SAED-SCET inter) en 1978 : riz, blé, tomate, maïs, sorgho, niébé, fourrages, canne à sucre, arbres fruitiers, coton, légumes ;
- Périmètre de Ndombo et de Thiago (SCET - inter) en 1978 : riz, tomate, sorgho, maïs, niébé, blé, légumes, fourrages ;
- Etude socio-économique (OMVS) en 1980, Hivernage : sorgho, mil, maïs, riz, niébé, pois d'Angola, soja, arachide d'huilerie et de bouche, blé ;

- d) Schéma Directeur d'Aménagement Rive Droite (Gersar) en 1980 : riz, maïs, sorgho, niébé, légumes (dont tomate et oignon), cultures fourragères ;
- e) Etude de factibilité du complexe agro-industriel de Ndiërba Richard Toll (SCET- inter) en 1980 : riz, tomate industrielle, sorgho, blé, maïs, oignon, cultures fourragères
- f) Projet d'aménagement hydro-agricole dans le département de Matam - Phase I (SATEC - SCET - SONED) en 1981 : riz, maïs, tomate, blé, sorgho
- g) Projet de diversification agricole (CSS) entre 1988 et 1998 : maïs, tomate, raisin de table, piment, aubergine, arachide.

Il a été nécessaire, ces dernières années, de faire des essais en plein champ pour obtenir des référentiels fiables et des itinéraires techniques logiques et actualisés, mais la grande majorité de ces cultures (et bien d'autres encore) avaient déjà été testées par les équipes de l'agronome Richard, jardinier du Baron Roger ou même cultivées en décrue depuis des millénaires. Les options strictes en riziculture suivant le programme céréalière national, le manque de visibilité et de soutien aux filières citées ci-dessus et le faible taux de partage récurrent des résultats de recherche avec les acteurs privés ont vraisemblablement freiné ou écarté beaucoup de cultures ci-dessus dans les assolements en grande surface des producteurs du Delta.

Une comparaison rapide des deux systèmes de production agricole dotés de la grande irrigation dans le Delta à savoir l'agro-industrie et les GPA sur des milliers d'hectares nous donne le Tableau 18.

Tableau 18 : Comparaison des deux principaux modèles de production irriguée dans le Delta

Système	Grand Périmètre Commun	Agro-industrie
Taille (ha)	500 à 2 000 (découpage micro-parcelles)	1000 à 15 000 (exploitation unique)
Acteur (s)	Etat et populations locales en groupement	Groupes de professionnels ou investisseurs
Investissements	Publique, bailleurs et ONG	Banques ou fonds privés
Mode de fonctionnement	Coopératives, associations, individuels avec prestataires	Entreprises avec gestion centralisée ou en régie
Types d'irrigation	De surface gravitaire basique	Modernes avec technologies
Statut Juridique	GIE	SA, SARL
Types de cultures	Riziculture et maraichage	Industriels ou d'exportation
Rentabilité	Très variable et instable	Moyenne à Forte
Durabilité	Faible	Moyenne à Forte

III. SCENARII PROJETS A COURT ET MOYEN TERME ET PROPOSITIONS DE CORRECTION

De cette analyse, il ressort que la durabilité des systèmes de production **hydro-agricoles (industrielles comme familiales)** dans cette zone est liée à 3 facteurs de base :

- Évolution physico-chimique des sols cultivés positive ou négative selon les investissements consentis et les systèmes de production installés (fertilité, salinisation, aptitude au drainage...)
- Evolution positive mais insuffisante et à double vitesse actuellement des systèmes et pratiques d'irrigation (disponibilité, accessibilité, durabilité et efficacité des systèmes d'irrigation)

- Organisation, maîtrise et durabilité de la production agricole irriguée différentes selon les filières, les investissements, la productivité et donc la rentabilité

Nous pensons que la trajectoire actuelle de l'agriculture irriguée dans le Delta peut suivre 3 tendances selon le niveau d'intégration et la dynamique de ces 3 facteurs identifiés (Tableau 19).

Tableau 19 : Structuration de scénarii envisagés dans le Delta

Niveau d'évolution d'un facteur et impact sur les autres			
Facteur ciblés	Scénario 3	Scénario 1	Scénario 2
Investissement majeur prioritaires structurants et secondaire productifs	Positifs et croissants	Moyens et insuffisants	Faibles et décroissants
	↓	↓	↓
Systèmes de production et pratique d'irrigation	Rentables et efficace, atteinte sécurité alimentaire	A double vitesse et non efficaces à moyen terme, pas de sécurité alimentaire	Médiocres et non rentables, baisse des productions
	↓	↓	↓
Maitrise des sols, des eaux et des nappes	Durable et tendance à la récupération de nouvelles surfaces	Durable à court terme uniquement et stationnaire à moyen terme	Aucune durabilité et perte accrue de surfaces agricoles

Trois (3) Scénarii possibles dans le Delta et probablement sûrement toute l'agriculture irriguée du Sénégal au cours de la prochaine décennie.

- Scénario 1** : C'est le scénario actuel, il est basé sur une stabilité synonyme de statu quo et jugé médiocre, généré par des investissements encore insuffisants. Il risque de perdurer si rien n'est fait structurellement pour renverser la tendance. Le plus gros risque est un développement à deux vitesses selon le système de production agricole en présence.
- Scénario 2** : Il constitue le scénario redouté, catastrophique et très pessimiste qui surviendra si les investissements actuels se réduisent. Il plongerait les structures hydro-agricoles et leurs environnements connexes (entreprises, ménages agricoles, actifs agricoles, prestataires...) dans un gouffre économique ou une dégradation poussée des infrastructures et des productions.
- Scénario 3** : Il s'agit de la situation souhaitée car elle semble être la seule voie pour stopper les échecs chroniques, surmonter les faiblesses notées et enclencher un cercle vertueux de développement hydro-agricole et de croissance économique. Il repose essentiellement sur un modèle intégré d'investissements échelonnés, progressifs et productifs sur les outils de production en agriculture irriguée. Ce choix politique et économique devra nécessairement être appuyé et accentué par des dispositifs réglementaires, juridiques et sociologiques aptes à assainir durablement ce sous-secteur

agricole (lois claires sur le foncier rural, gouvernance et protection des filières locales, formation continue...).

Ce scénario sera le fil conducteur tout le long des 2 parties suivantes de ce document. Il sera basé sur le schéma ci-dessous (Figure 5) qui reprend les trois piliers de l'offre de gouvernance : la gestion du foncier rural, la protection des filières locales de productions agricoles et un soutien politique à l'agriculture irriguée.

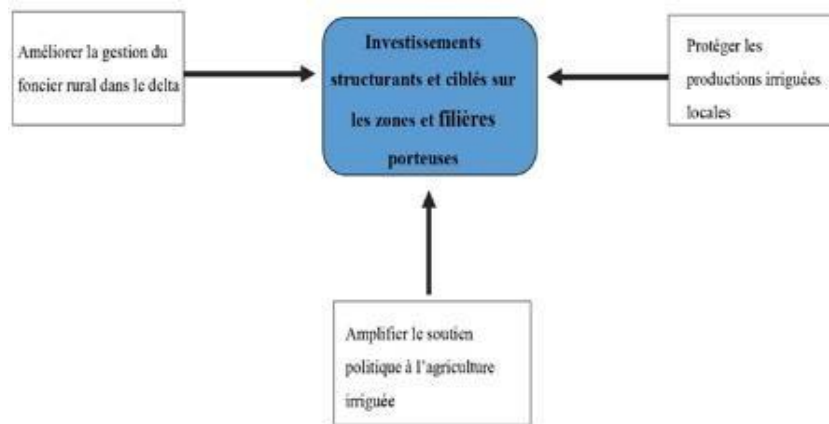


Figure 5 : Organisation politique du scénario basée sur la gouvernance et l'accompagnement institutionnel des investissements physiques

La durabilité des systèmes irrigués est fortement liée à celle des facteurs de base (capital social et capital technique) et tous les trois sont interconnectés obligatoirement par un réseau cohérent d'investissements déjà détaillés (Figure 6).

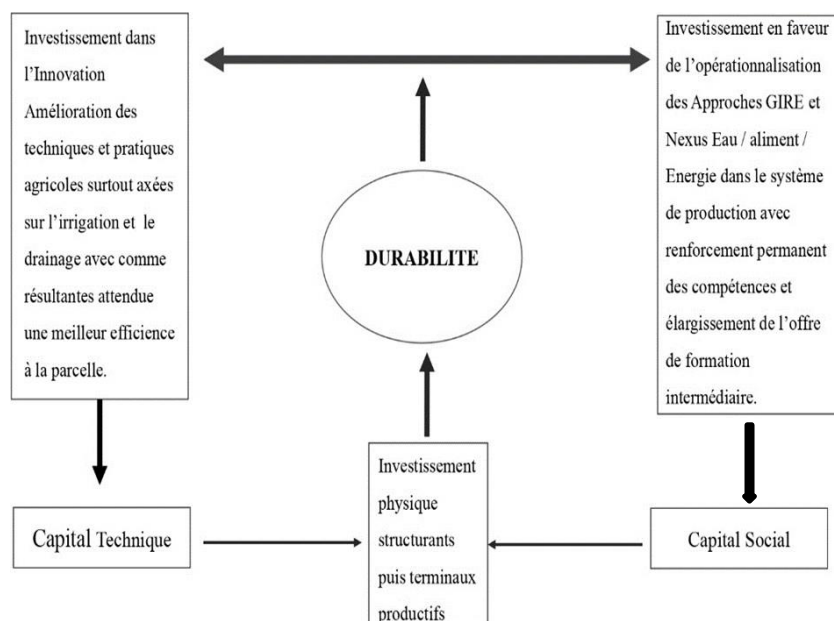


Figure 6 : Schéma du processus de durabilité axé sur des investissements productifs ayant recours à des capitaux à caractère social et technique

Aussi importants et bien ciblés soient-ils, ces investissements ne pourront pas à eux seuls régler le problème du développement durable de l'agriculture irriguée dans le Delta. Avec des schémas de productions agricoles encore faiblement structurés, très instables et peu rentables, il faudra nécessairement des mesures d'accompagnement claires qui puissent motiver les opérateurs privés nationaux ou étrangers à consentir la deuxième vague d'investissements productifs attendus comme le moteur de la croissance agricole rentable.

Ces investissements secondaires sont attendus à la suite de ceux prioritaires, structurants et publics, qui doivent installer un cadre de production propice. Ils ne pourront voir le jour sans une réglementation claire du foncier rural, une protection accrue et avouée des productions locales en concurrence déloyale avec des produits identiques étrangers et un soutien politique interne et surtout externe de notre agriculture irriguée par les partenaires au développement (bailleurs de fonds, ONG, multinationales).

CHAPITRE 5 :

Orientation des investissements productifs : premier niveau de correction structurelle

Les investissements privés restent faibles vers l'agriculture au Sénégal. En 2002, environ 5% du financement privé est allé vers le secteur primaire à cause surtout du risque climatique. Pourtant, les investissements restent prioritaires pour arriver au scénario 3 et doivent se développer à court et moyen terme sur deux niveaux : ceux publiques ou sous régionaux qui seront structurants et ceux secondaires privés nationaux ou internationaux et devant être productifs rapidement.

I. SCHEMA FONCTIONNEL DES INVESTISSEMENTS PRIORITAIRES DE L'AGRICULTURE IRRIGUEE

Les investissements prioritaires, de deux types, sont sensés aider à moyen terme l'agriculture irriguée à arriver à deux résultats : rentable et durable. Les investissements publics seront centrés sur la durabilité des systèmes de production avec une meilleure structuration de la production (points A, B, C et D) et ceux privés devront aider à une meilleure gestion des premiers (points E, F G et H). Les gains obtenus de ces investissements (points I et J) seront accompagnés par l'épargne des exploitations agricoles pour pérenniser le système. Cette épargne constitue à terme la clé de voute de l'approche proposée. Qu'elle soit familiale ou industrielle, l'agriculture devra donc respecter les principes de base des systèmes économiques modernes à savoir : la maîtrise de sa situation financière à travers l'épargne, la gestion du financement de ses activités et l'optimisation de ses gains ou résultats d'exercice (Figure 7).

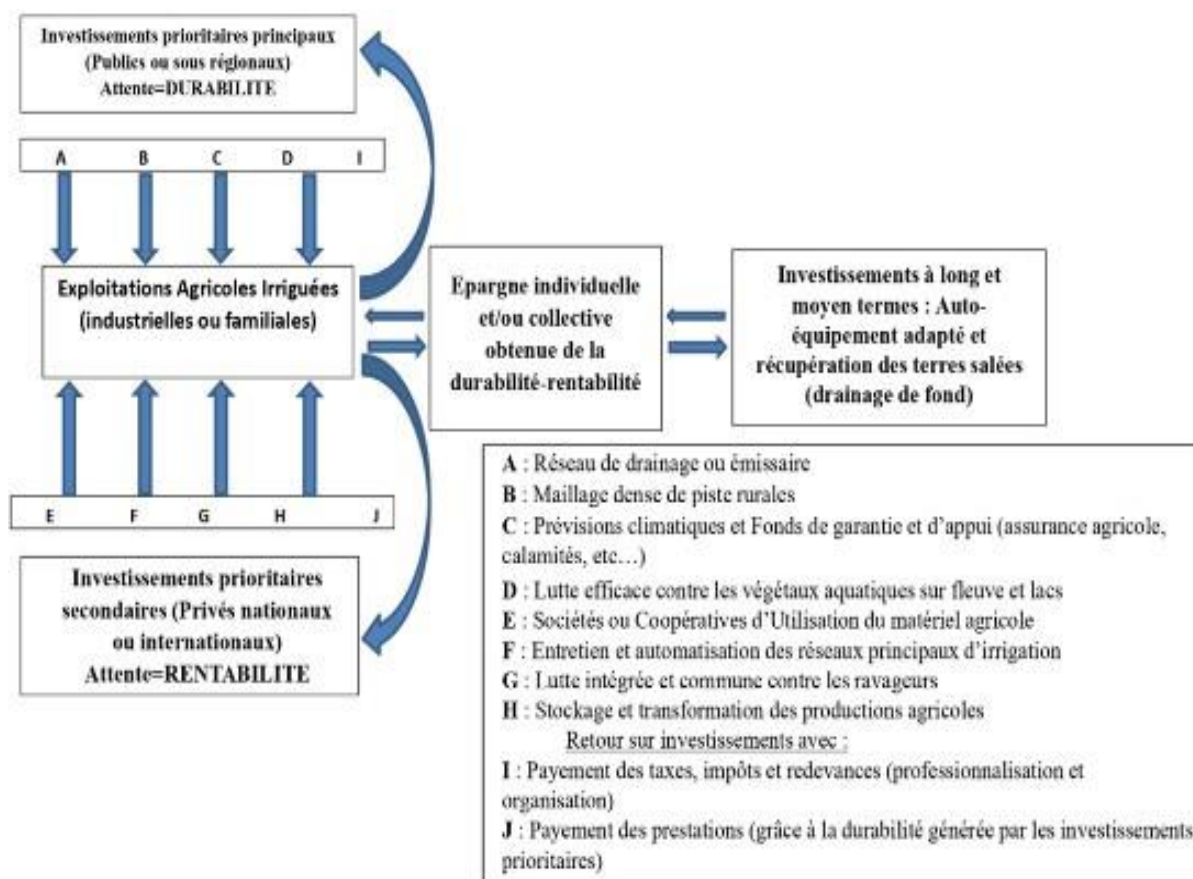


Figure 7 : Origines et utilisations prioritaires des investissements préconisés dans le Delta

II. PERSPECTIVES D'EVOLUTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION IRRIGUEES SOUS LE SCENARIO 3

Les perspectives ouvertes par la mise en place de ces investissements pour l'agriculture irriguée sont multiples et d'abord axées sur une meilleure gouvernance des exploitations agricoles, qu'elles soient paysannes ou industrielles. La notion d'entreprise agricole est fondamentale et incontournable. La GIRE, largement développée dans 3^e partie de la thèse sera le lien optimal entre tous les modèles afin de garantir une durabilité agroécologique. Cette GIRE est sensée apporter un plus dans cette gouvernance des systèmes de production (entreprise agricole, exploitation familiale, filières...) mais aussi des facteurs de production (sol, eau, équipements, ...). Le transfert de technologie des entreprises agro-industrielles qui auront à développer prioritairement des technologies et des pratiques vers les paysans pourra alors servir d'outil de promotion et compléter l'offre de gouvernance et aider à atteindre les objectifs communs et spécifiques de productivité, de rentabilité et de durabilité (Figure 8).

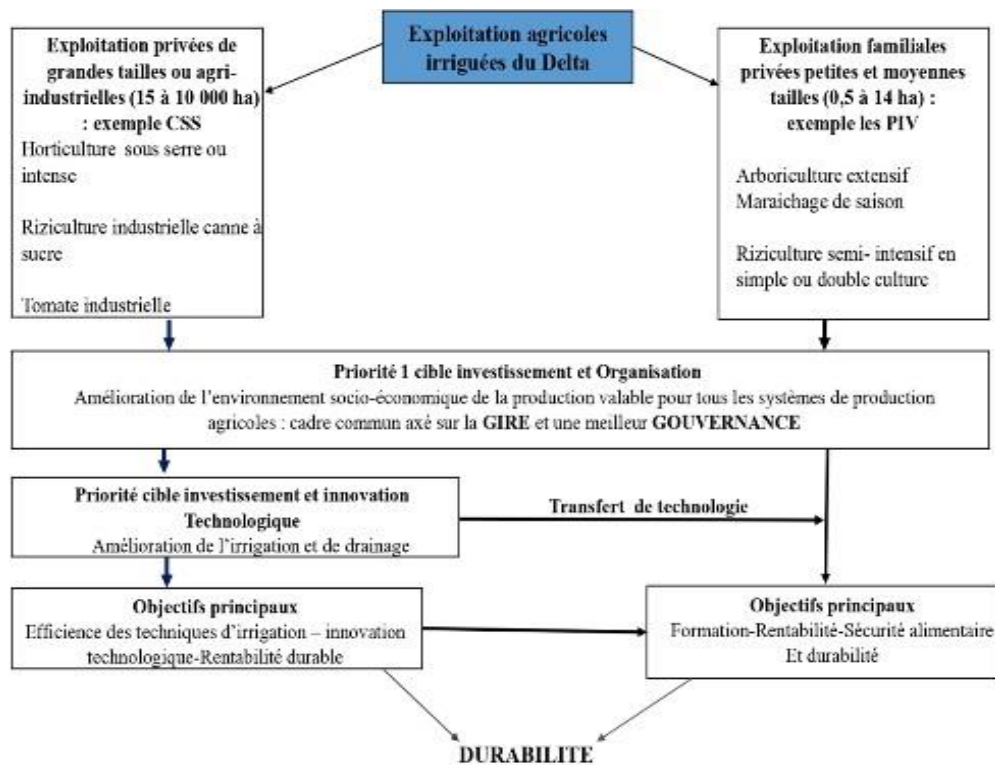


Figure 8 : Evolution attendue des systèmes de production et de culture suite aux investissements majeurs et aux transferts de technologie

III. SCHEMAS DETAILLES DES INVESTISSEMENTS PRIORITAIRES 1 ET 2 ET DE LEURS CIBLES

Ce schéma global (Figure 9) reprend les principaux leviers nécessaires pour améliorer de façon durable les réseaux d'irrigation et de drainage.

1- Les investissements proposés doivent d'abord aider à améliorer l'hydraulique des réseaux d'irrigation de façon à arriver à une meilleure disponibilité spatio-temporelle de la ressource afin de garantir à tout acteur, quel que soit son statut, ses capacités financières et sa position géographique par rapport aux sources d'eau, un accès continu et surtout pas trop cher. Le coût de l'eau agricole et sa disponibilité physique sont vus comme les principaux futurs goulets d'étranglement de l'agriculture irriguée dans le sahel (FAO, 2008).

Le deuxième aspect mis en avant est l'amélioration de sols cultivés en termes de capacité de drainage agricole, ce qui constitue une voie d'assainissement agricole et d'amélioration pédologique (lutte contre l'humidité permanente et l'anoxie, rabattement des nappes, lutte contre les nappes perchées). Ces deux points doivent être soutenus et amplifiés par une formation continue des acteurs et le recrutement de techniciens spécialisés bien formés.

2- L'autre partie du schéma explique en détail l'approche d'investissements nécessaires à améliorer l'environnement non cultural de la production qui est vu comme le frein majeur des structures de production familiales vulnérables.

- Les dispositifs d'accompagnement, de financement, d'encadrement, d'organisation des filières

- Les structures de stockage, de transformation, de valorisation et de commercialisation des productions

Ils doivent être améliorés ou tout simplement créés afin de garantir un environnement propice à des investissements rentables et à des systèmes durables. C'est une étape nécessaire pour valoriser les investissements sur les réseaux et les pratiques axés sur l'environnement technique productif. L'efficacité de l'environnement des filières nourrit l'efficacité de la production agricole et vice versa. Ce cycle continu alimente une stabilité du système et des corrections et ajustements continus.

Ces deux leviers comme le stipule le schéma sont imbriqués et s'alimentent mutuellement dans un cadre dynamique. La bonne mise en œuvre de ce modèle doit normalement impulser une dynamique positive et un cercle vertueux de production agricole surtout pour les systèmes agricoles irrigués vulnérables.

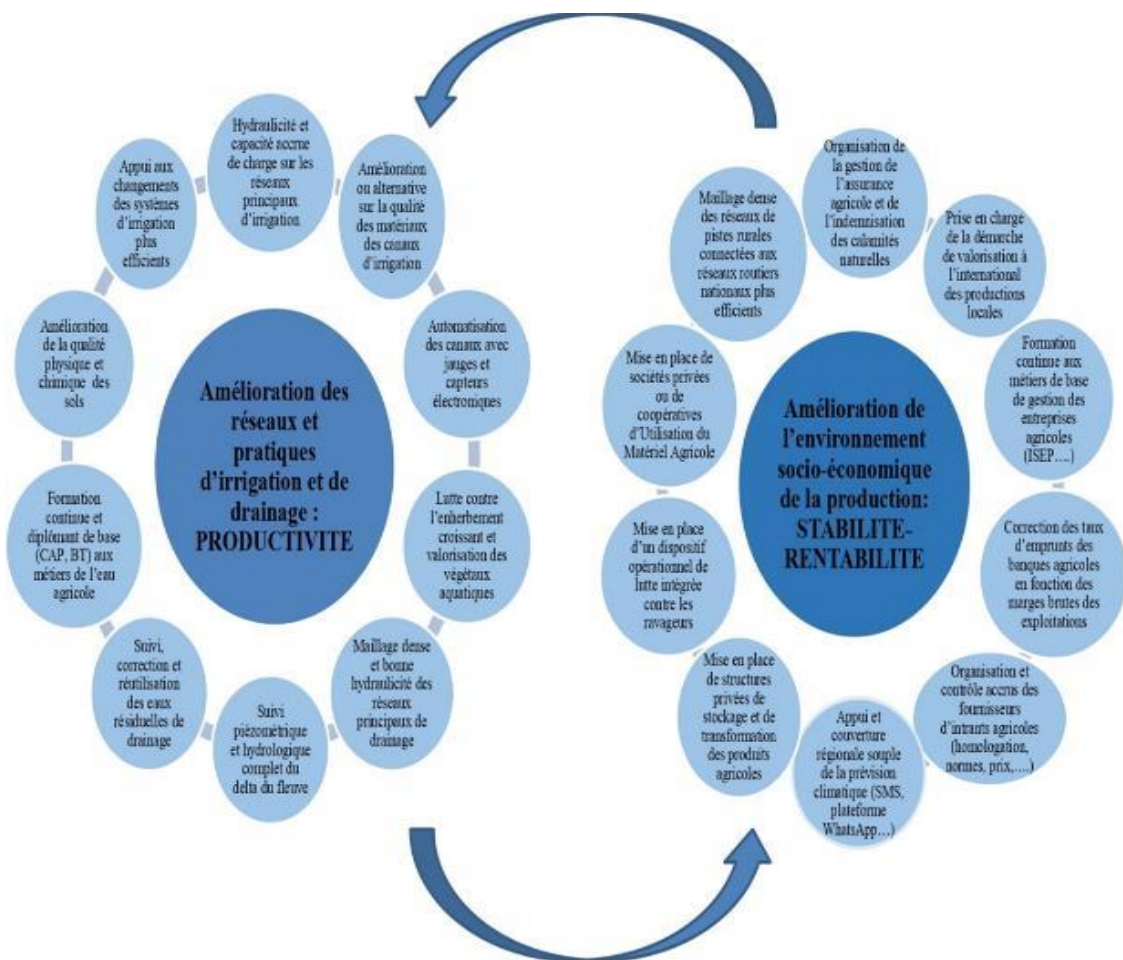


Figure 9 : Structuration détaillée des actions prioritaires autour des deux thématiques

IV. OBJECTIFS ATTENDUS DU SCENARIO 3 APRES INVESTISSEMENTS PRIORITAIRES 1 ET 2

Ces trois schémas d'investissements très détaillés (Fig 7, 8 et 9) doivent aider les décideurs à orienter les priorités en fonction des besoins urgents diagnostiqués mais aussi à résorber le gap technologique, scientifique et organisationnel entre les deux principaux modèles de production agricole. Ils doivent déboucher sur des améliorations attendues dans plusieurs domaines :

stabilité de la production, rentabilité des investissements, amélioration de la productivité, durabilité des ressources et systèmes, sécurité alimentaire, création d'emplois et de valeur ajoutée (Figure 10). L'accent est mis sur la gestion durable et conservatoire des ressources en eau et de sols arables, la gestion durable et rentable des périmètres irrigués à travers de meilleurs systèmes de production mais surtout pratiques d'irrigation et de drainage.

L'environnement des filières doit profiter à la **création d'emplois agricoles et ruraux**, à la connexion entre les différents sous-secteurs de l'agriculture irriguée (pisciculture, élevage intensive avec les résidus, transformation artisanale ou semi-industrielle...). Mais surtout cette amélioration des systèmes de production doit générer de **l'Épargne**, le seul levier durable d'investissements rentables dans le cas d'une agriculture moderne. Cette épargne fait trop défaut actuellement à un secteur qui peine à dégager des résultats d'exploitation positifs en plus des charges sociales lourdes mais aussi d'autres dépenses sociales (fêtes, prestige social) de moindre importance et trop présentes dans la vallée (Faye et al, 2007).

Le 3^o gain attendu est l'augmentation et la généralisation à moyen terme du paiement des **recettes fiscales** qui fait défaut aux recettes publiques (taxes, impôts, patentes...). La Banque Mondiale, en 2017 note que *« la situation budgétaire s'est améliorée : les pouvoirs publics ont plafonné les dépenses de fonctionnement et augmenté les recettes fiscales (pour les porter à un niveau supérieur à 20 % du PIB), ce qui a permis de dégager une marge de manœuvre suffisante au profit de l'investissement public »*. L'Etat ne peut clairement pas augmenter indéfiniment son endettement et doit donc aider à installer des structures agricoles rentables qui puissent en retour « payer » une partie de l'investissement et de la croissance à travers ces recettes. Cette situation pourrait aider à éviter ce pronostic de la Banque Mondiale : *« l'accélération de l'investissement public pourrait compromettre la discipline budgétaire dans un contexte de hausse de la dette de l'État, tandis que les investissements privés risquent de stagner si le climat de l'investissement ne s'améliore pas assez vite »*. Il est clair que tout ne pourra être supporté par l'investissement public.

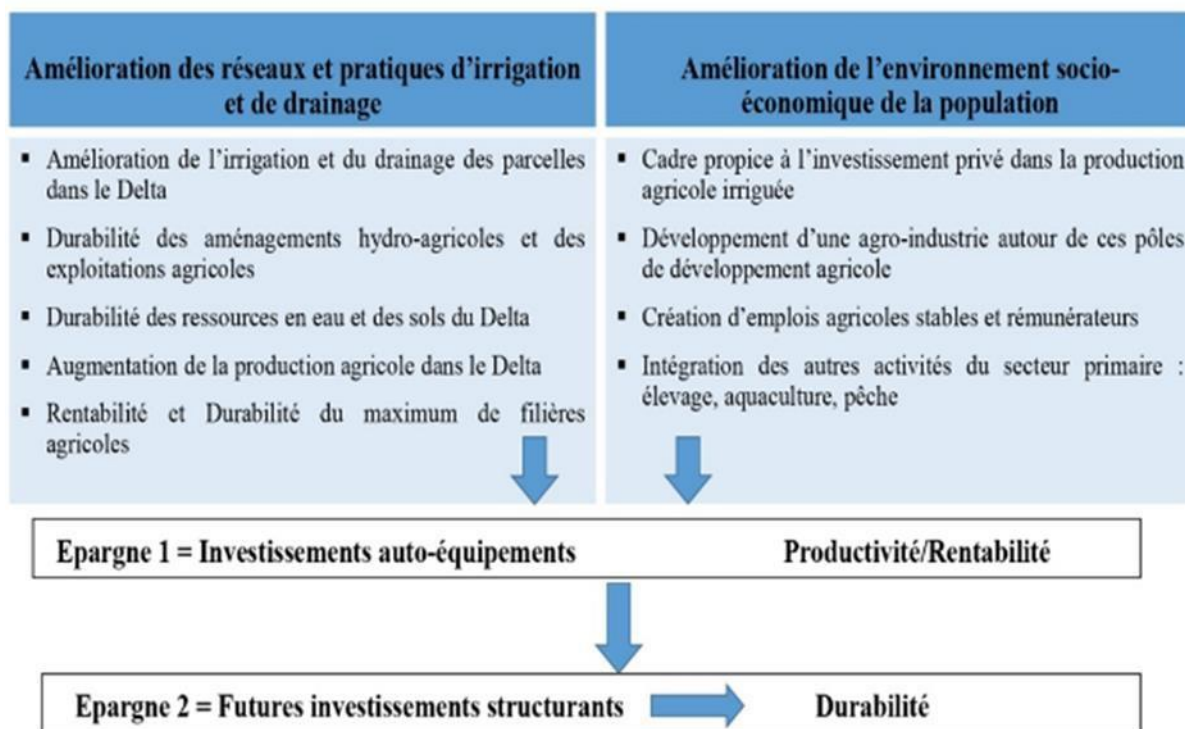


Figure 10 : Schéma de rentabilité des investissements axé sur l'épargne et gage de durabilité

V. FINANCEMENT LOCAL ET NATIONAL DU FONCTIONNEMENT DE L'AGRICULTURE IRRIGUEE

Les sources de financement doivent être multiples et variés. Pendant trop longtemps le financement de l'agriculture fut du ressort de la CNCAS qui est venu combler un vide laissé par les réformes institutionnelles. Après des débuts difficiles (taux à 15%), l'Etat a fait des efforts pour renforcer ce rôle à travers l'adoption, en 1997, du Programme Agricole Rénové (PAR) qui a permis d'assouplir les conditions habituelles de financement. Ainsi, 1987 à 1999, la CNCAS a accumulé un montant de 35 milliards de crédit de campagne pour le riz et la tomate. Des fonds furent logés à la CNCAS sur ressources propres du gouvernement et on fait passer le volume de financement de 4 à 12 milliards/an avec un taux de remboursement de 80%. Pourtant depuis 2006, ce système connaît des dysfonctionnements liés à la baisse tendancielle du remboursement des crédits.

Les autres acteurs majeurs (hors CNCAS) qui sont entrés en action au début des années 2000 sont les Institutions de Micro Finances (IMF) impliquées dans le crédit de proximité et au nombre de 206 avec une évolution constante. Les principaux sont : le Crédit Mutuel du Sénégal (CMS), l'Alliance de Crédit et d'Epargne pour la Production (ACEP), l'Union des Mutuelles du Partenariat pour la Mobilisation de l'Epargne et du Crédit au Sénégal (UM-PAMECAS) et l'Union Nationale des Commerçants et Industriels du Sénégal (UNACOIS). Pourtant, malgré un volume d'Epargne de 15 milliards et de financement de 18 milliards (33 milliards au total), le volume alloué au monde rural n'est que de 5 milliards, le reste étant investi dans d'autres

secteurs (commerce, transformation, immobilier surtout). Ces sommes sont dérisoires par rapport aux besoins globaux de financement durable de la production irriguée (Diène et al, 2008).

Les derniers acteurs intervenant dans le financement de l'agriculture irriguée privée sont les ONG au nombre de 400 environ dont 112 sont répertoriées comme intervenant dans le monde rural. Environ 13 milliards sont injectés par ces structures chaque année dans le monde agricole sénégalais à travers plusieurs formules (dons, équipement, formation, conseil).

Actuellement la plus grande partie du financement vers l'irrigation dans le Delta vient de structures internationales comme la FAO, la Banque Mondiale, la BAD, l'USAID, la JICA et l'Union Européenne à travers des partenariats avec l'Etat ou ses agences. Le Programme Détaillé de Développement de l'Agriculture Africaine (PDDAA) qui constitue le volet agricole du NEPAD est basé sur l'engagement des états africains lors du sommet de Maputo en 2003 à consacrer 10% de leur budget à l'agriculture ! Le projet en cours le plus marquant du Delta provient de la Banque Mondiale, très active qui, après avoir initié le PDIDAS veut capitaliser dessus à travers l'Initiative pour l'Irrigation dans le Sahel (2IS) avec 170 millions de dollars d'investissement sur 6 ans entre les 6 pays du CILSS. Ce financement de l'agriculture est donc actuellement en nette amélioration avec une hausse de 8% entre 2015 et 2016 (BM) de l'aide publique ou privée au développement (cette dernière est en régression). Elle doit nécessairement se renforcer, se diversifier et donc s'orienter vers de nouveaux créneaux adaptés à la diversité des acteurs. Le cabinet SOFRECO a proposé en 2005 un modèle de financement structuré de l'agriculture dans la Vallée à la suite d'une étude puis a mis en œuvre dans le cadre du PACR (Programme d'Appui aux Communautés Rurales) financé par l'AFD (2008-2013) un mécanisme et mode de gestion susceptible de créer les conditions favorables à l'investissement privé. L'Etude de 2005 a mis entre autres l'accent sur des points que nous partageons avec elle :

- Prise en compte des initiatives d'inspiration mutualiste (MEC et Caisse locale de Crédit Mutuel) dans la construction d'un système de crédit rural décentralisé avec entre autres option à moyen terme la transformation de la CNCAS en structure mutualiste (Banque Mutuelle Agricole).
- A long terme une Banque d'Investissement du Nord (BIN) avec la prise en charge du financement du haut de bilan des entreprises agro-industrielles
- Création d'un Fonds d'Appui à la Décentralisation Economique et d'un fonds inter-régional d'appui au PME/PMI

Au-delà de cette approche très « bancaire » mais indispensable à la relance durable du financement privé, nous proposons aussi d'explorer les possibilités offertes par :

- Le financement participatif à travers des réseaux et plateformes nationaux et mondiaux
- Le financement à travers les fonds de garantie publics alloués par l'Etat comme c'est le cas actuel avec le FONGIP (Fonds de Garantie des Investissements Prioritaires) mais avec plus de présence dans l'agriculture irriguée.
- Les banques solidaires ou islamiques qui sont de plus en plus présentes dans le pays et très adaptées à l'environnement sociologique de certains acteurs
- La location de terres agricoles par l'Etat à des investisseurs étrangers fiables et contrôlés aux profits des populations de la zone

- La subvention des taux de remboursement pour les organisations et structures prêtes à investir dans la création d'emplois permanents.

Ces investissements bien menés et valorisés par une augmentation des surfaces irriguées et une meilleure tenue des filières agricoles devraient certainement asseoir une production agricole rentable. L'épargne générée sera le moteur de la durabilité des modèles agricoles. Cette épargne est sensée produire de la plus-value dans les exploitations agricoles et ainsi financée une autre vague d'investissements à moyen terme sur :

- L'auto-équipement agricole raisonné de manière individuelle ou communautaire
- Le financement continu de la production avec maîtrise totale de la chaîne de valeurs
- La participation citoyenne (impôts et taxes) aux financements structurants des ouvrages communs
- La participation à la protection des filières à travers la souscription aux assurances agricoles
- La formation continue des producteurs qui seront en contact avec des outils modernes de production
- L'investissement dans des modes acceptables d'agriculture de précision et/ou intelligente.

Conclusion partielle

Cette analyse bibliographique nous situe l'histoire de l'agriculture irriguée dans le Delta comme un semi-échec et son évolution possible à court et moyen termes comme un défi très lourd que beaucoup d'acteurs concernés semblent avoir compris. Le premier enjeu de taille est l'atteinte d'une certaine productivité et rentabilité au niveau des systèmes de production agricole. Le concept de durabilité qui n'est pas encore suffisamment ancré au niveau des producteurs (Larbaigt, 2001) viendra alors de ce premier gain pour parachever la croissance du secteur agricole irriguée dans le Delta.

Le défi est de si grande taille qu'il ne suffira pas de comprendre ou de vouloir seulement pour y arriver mais il faudra nécessairement

- S'organiser mieux et à tous les niveaux : étatique, régional, local, familial (gouvernance, investissement, organisation foncière)
- Agir ensemble (tout type d'acteurs confondus) et de manière professionnelle en mettant en avant le caractère forcément entrepreneurial et formel de la production agricole irriguée qui nécessite obligatoirement des investissements de départ
- Investir plus et mieux, de manière raisonnée et rentable avec une véritable politique de formation continue pour asseoir des productions durables

L'objectif principal du PSE, qui vise à lever les obstacles structurels à la croissance et à faciliter l'initiative privée est encore une projection heureuse pour améliorer la situation de l'agriculture du pays et surtout de la production irriguée s'il est atteint. Plusieurs facteurs structurels se présentent à nous auparavant et doivent trouver des solutions rapides. La gouvernance du

foncier, la modernisation réfléchi et le management des exploitations agricoles, le soutien même temporaire aux filières majeures sont des prérequis que nous ne pouvons occulter.

Les contraintes et faiblesses principales qui se posent à l'agriculture irriguée dans le Delta sont à la fois communes et distinctes pour les deux principaux systèmes de production agricoles de la zone : les agro-industries et les exploitations agricoles familiales. Les grandes différences entre ces structures qui ont trop souvent évolué en parallèle sont leur mode de management et leur environnement socio-économique respectif. Y travailler avec eux pourrait les aider à une meilleure intégration.

L'étude à fait ressortir qu'elles ont en commun une histoire hydrologique, pédologique et climatique quasi identique marquée par des contraintes nées des millénaires d'intrusion de la langue salée associée à des périodes terribles de sécheresses. Les corrections qui s'imposent à l'une devront foncièrement être valable pour l'autre sous réserve sûrement d'adaptations légères.

Deuxième partie :
LES MUTATIONS TECHNOLOGIQUES NECESSAIRES A
UNE IRRIGATION EFFICIENTE DANS LE DELTA :
PRATIQUES ET OUTILS D'AIDE A LA DECISION
PERTINENTS

La première partie de la thèse a permis la mise en évidence de plusieurs contraintes :

- Physiques liées aux sols cultivés dans le Delta (filtrants, salins sodiques, alcalins ou acides) et
- Techniques liées à la pratique de l'irrigation dans notre *Moteur agronomique* surtout dans les exploitations familiales qui ont comme conséquence une évolution très différenciée des modèles de production.

La majeure partie de sols actuels cultivés dans le Delta ou théoriquement cultivables (réserve foncière) estimée à plus de 100 000 ha subissent une ou plusieurs de ces contraintes énoncées (Campus, 1997). Leur mise en valeur durable et rentable passe par des solutions adaptées. Sur les sols lourds du Delta, la salinité constitue une problématique majeure pour la durabilité d'une pratique efficiente de l'irrigation surtout de surface.

Cissé (2011) et Diop (2017) ont largement exposé dans leurs thèses respectives la dynamique de la salinité, la contextualisation des ressources naturelles sols et eaux, et leur fragilité liée au processus de drainage des périmètres irrigués dans le Delta. Il est impossible de pratiquer de la riziculture irriguée dans le Delta du fleuve sans un minimum de drainage (Cissé, 2011).

Selon Postel (1999), "*La salinisation des sols et de l'eau dans la plaine d'inondation du Tigre et de l'Euphrate a contribué au déclin de la civilisation mésopotamienne il y a 6000 ans. La plupart des civilisations fondées sur l'agriculture irriguée ont échoué. La nôtre serait-elle différente ?*" Cette mise en garde mérite d'être prise au sérieux d'autant plus qu'à l'échelle mondiale près de 20 à 30 millions d'hectares de terres irriguées sont gravement touchées par la salinité du sol (Niang, 2016) et que les eaux souterraines et de surface sont à des degrés divers polluées par les résidus de produits chimiques et phytosanitaires.

La problématique centrale liée à l'aménagement des sols du Delta est d'abord un besoin fondamental de drainage agricole des terres lourdes (argileuses) : plus que l'irrigation, il constitue le facteur contraignant majeur et accentue l'écart entre les structures qui l'ont intégré dans leur schéma d'aménagement initial et les autres qui se contentent d'infrastructures de drainage insuffisantes ou non efficaces malgré toutes les études dans cette zone. Pour exemple, les périmètres rizicoles privés qui occupent pourtant 64,36% des aménagements hydro-agricoles du Delta du fleuve Sénégal n'ont pas de réseau de drainage fonctionnel.

L'émissaire du Delta, dans sa partie fonctionnelle (branche B), est déjà dégradé, envahi par les végétaux aquatiques (*Typha* et *Tamarix*), et très affecté par l'érosion éolienne et hydrique. Cette dégradation déjà visible le long de l'émissaire affecte également tous les drains collecteurs du Delta du fleuve Sénégal rendant complexe la situation d'évacuation des eaux de drainage hors des aménagements hydro-agricoles (Cissé, 2011). Le projet MCA a opéré une correction partielle de l'infrastructure en 2017.

Sur les sols sableux et filtrants du Diéri où se trouvent localisés la grande majorité des réserves foncières exploitables, la problématique majeure qui se pose est comment arriver à assurer régulièrement aux plantes leur besoin en eaux sans excès nuisibles et des pertes importantes par lessivage ? Des mutations technologiques sont donc nécessaires car les modèles empiriques et traditionnelles d'exploitation hydro-agricole ont montré leur limite dans toute cette zone.

La CSS concentre sur le plan foncier l'ensemble des problèmes énumérés dans le Delta et a essayé de lever les contraintes majeures soulevées sur ses terres. Elle va donc nous servir de site d'expérimentations pour proposer des solutions sur les aspects pratiques d'irrigation et de drainage agricole. Une politique d'investissements ciblés, comme ceux recommandés dans la synthèse de la 1^o partie a permis de faire des progrès sur la gestion des eaux et des sols sur ce site.

CHAPITRE 6 :

Salinité et drainage des sols : approche pratique de lessivage des sels solubles

Ce chapitre nous a donné l'occasion de participer :

- ✓ Comme co-auteur d'un chapitre du livre : *Achieving sustainable cultivation of sugarcane Volume 1 : Cultivation techniques, quality and sustainability* édité par Burleigh Dodds en décembre 2017.
- ✓ Premier auteur d'une communication à l'AFCAS intitulé : *(Sall M T et all) : Amélioration des rendements par l'augmentation des fréquences d'irrigation de la canne à sucre sur les sols salés de la Compagnie Sucrière Sénégalaise* en décembre 2015, AFCAS, Paris.

Selon Kane (1997), 1/3 des parcelles aménagées sont maintenant abandonnées à cause du sel et de l'insuffisance du drainage dans le Delta. Les aménagements villageois (PIV) sont sommaires et contribuent à saliniser un peu plus ces terres. Nous avons assisté pendant longtemps à une logique d'agriculture itinérante avec l'abandon au bout de 2 à 3 ans de culture en moyenne de parcelles cultivées et non ou faiblement drainées. Cette pratique est toujours en vigueur autour du lac sur les champs de patate douce à cause, entre autres, de la pression des nématodes.

La salinisation est un phénomène qui touche beaucoup de terres arables au niveau du Sénégal. En effet, beaucoup de techniques mises au point, n'ont pu fournir des résultats très satisfaisants. Beaucoup d'études ont montré que le phénomène de remontée capillaire, l'absence de réseau de drainage performant et les mauvaises pratiques sont les principales causes du processus de salinisation. Raes (2002) a testé dans le Delta un modèle, UPFLOW, pour estimer la remontée d'eau et de sel depuis une nappe phréatique. C'est un outil informatique qui permet d'estimer la remontée d'eau et de sel depuis une nappe phréatique peu profonde vers la couche superficielle du sol, pour une période déterminée et des conditions environnementales spécifiques. Toutefois certaines pratiques comme la riziculture irriguée et la réalisation de réseaux de drainage des eaux dans la Vallée du Fleuve Sénégal, peuvent apporter une réponse tendant à limiter les effets néfastes de la salinité des sols (Photo 6 a et b). Cependant, pour combattre la salinité de façon efficace, il faudrait adopter une approche intégrée qui puisse combiner plusieurs techniques (Ndao, 2011).



Photo 6 a et b : Incidences d'un mauvais drainage et de la salinité résiduelle dans des parcelles de canne

I. GENERALITES ET HISTORIQUE DE LA PRATIQUE DU LESSIVAGE A LA CSS

La salinité résiduelle des sols cultivés du Delta constitue un obstacle à l'obtention de bons résultats agricoles. La solution d'un drainage profond, pourrait être une solution envisageable (Gning, 2015). Cette solution offre des opportunités remarquables mais aussi des contraintes.

- **Opportunités** : c'est une technique qui présente l'avantage de limiter considérablement la remontée de la nappe et par conséquent du processus de salinisation. Au cas où on n'aurait pas un drainage profond, on peut utiliser des drains de colature, espacés de 200 à 400 m, pour obtenir **80%** de dessalement en une campagne rizicole, avec 10 à 12 000 m³/ha en riziculture (Boivin P, et Le Brusq J Y, 1985).
- **Contraintes** : La mise en place de drains souterrains, la collecte et l'acheminement des eaux chargées vers la mer est d'un coût élevé. Par exemple, le Programme National de récupération et de protection des sols nécessitait 27 milliards de FCFA dont 5 milliards pour la réhabilitation des digues (compte rendu conseil interministériel sur les sols salés, 2008).

Cette solution a été pourtant très tôt envisagée dans le périmètre sucrier de la CSS malgré son coût. Les études et essais menés depuis 1970 (Duc, 1970, 1971) ont abouti à des techniques et pratiques lourdes mais efficaces de lutte contre la salinité d'origine et la salinisation en cours des parcelles sous culture.

Ces études ont conduit au choix d'un drain avec les caractéristiques suivantes : tubes de drainage de couleur jaune en PVC de section cylindrique, annelés, à paroi simple, perforés. Ils sont enrobés de géotextile blanc (polypropylène à 700 microns) conditionnés en couronne de 150 m (photo 8). Les surfaces internes et externes du tube sont propres, les annelures sont régulières, sans rayures et autres défauts de surface susceptibles d'affaiblir les performances du tube. Les plans des extrémités des tubes sont perpendiculaires à l'axe du tube et présentent des coupes nettes. La répartition des perforations est régulière sur toute la circonférence du tube. La machine d'installation est une draineuse-trancheuse (photo 7) de 440 CV avec chenilles et qui a une vitesse de travail max de 3,6 km/h. La largeur de la tranchée va de 25 à 50 cm, la profondeur de pose de 1,2 m l'écartement entre 30 et 45 m et la productivité horaire de 250 à 350 mètres linéaires. Le coût d'un tel outil est de 326 000 euros soit 213 856 000 FCFA.



Photo 7 : Draineuse/trancheuse pour installer le drain



Photo 8 : Drain enrobé de géotextile

La durée normale de travail est de 10h de temps par jour. La productivité de la draineuse étant de 200 m/h voire plus, l'objectif journalier de l'équipe est de 2000 m.

L'amortissement cumulé journalier des engins engagés sur cette opération est de 241 000 FCFA. Les coûts de lubrifiants et gasoil tourne autour de 5334 FCFA/jour. Le personnel opérateur et encadrement vaut environ 1046 FCFA/jour. Le coût des drains et accessoires tourne autour de **1 312 555 FCFA/ha**. Le récapitulatif du **coût total en ml de la pose des drains enterrés à la CSS est de 1096 FCFA**.

La pratique du lessivage n'est pas un phénomène nouveau. En effet, le savoir-faire existe depuis longtemps. Les premières opérations de lessivage de sols salés dataient des années 1971 à 1973

Sur 50 ans environ, environ 6 000 ha de terres salées ont pu être successivement récupérés à la suite de travaux de lessivage à la CSS. Une analyse des travaux concernant les lessivages passés (Béye, Marion, Séné) a pu nous aider à mieux comprendre les différents aspects de cette pratique.

Les anciennes parcelles lessivées se comportent bien plusieurs années après leur mise en culture. Leur conductibilité dépasse rarement 3dS/m bien que quelques poches marginales présentent encore une forte salinité. Ce constat amène à penser que ce phénomène de salinité a été globalement maîtrisé dans le casier.

Deux hypothèses pourraient expliquer cette maîtrise, voire même la diminution de la salinité dans le casier :

- L'apport constant d'eau douce d'irrigation qui est venu se superposer sur la nappe phréatique salée et qui s'évapore à la place de cette nappe ;
- La construction de drains à ciel ouverts et l'utilisation des drains enterrés qui ont permis de rabattre la nappe et de recueillir l'eau de percolation chargée en sel.

II. GENERALITES SUR LE LESSIVAGE DES SELS SOLUBLES

II.1. Définition du lessivage

Le lessivage est une opération qui consiste à dissoudre les sels accumulés dans le sol par des apports d'eau importants et à les entraîner en-dessous de la zone racinaire par le mouvement descendant de l'eau (Mermoud, 2006), ou à « laver » superficiellement le sol de son sel. C'est une opération d'assainissement qui vise principalement à désaliniser des terres jugées salées avec une teneur en sel supérieure ou égale à 4 mmho/cm (Tab 20). Il se fait sur la base d'une série de submersions (mise en eau à une lame constante) et d'assecs (vidanges de la lame d'eau restante) successives d'une parcelle.

Le lessivage des sels a lieu durant la mise en assec où, l'eau chargé de sels, est évacuée en surface vers les drains à ciel ouvert mais aussi par le drainage en profondeur, grâce aux drains enterrés qui eux, évacuent les excédents d'eaux salées percolés.

Le lessivage des sels solubles avant mise en culture des sols se pratique après endiguement de la parcelle. Le poids de l'eau durant la submersion, associé à un drainage profond permet d'entraîner hors de la couche cultivable les sels solubles. Les sels mis en solution sont également évacués avec les excédents d'eau de lessivage lors des mises en assec. Des analyses de salinité sont régulièrement réalisées après chaque assec.

Il est appliqué dans le casier sucrier aux parcelles dont la teneur en sel est supérieure à 2 mmho/cm à l'horizon 0-60 cm et supérieure à 4 mmho/cm à l'horizon 60-120 cm. Au bout de ce processus qui peut durer plusieurs années, les parcelles sont considérées comme cultivables si 80 % des échantillons de sols prélevés et analysés au premier horizon ont une conductivité électrique inférieure à 2 mmho/cm et un pH compris entre 5,6 et 8 et 80 % aussi des échantillons analysés ont une conductivité électrique inférieure à 4 mmho/cm et un pH compris entre 5 et 8 au niveau du deuxième horizon (Séne, 2000).

Tableau 20 : Type de salinité en fonction des paramètres mesurés

Classification	CE (dS/m)	pH	Sodium Adsorption Ratio (SAR)
Saline	> 4,0	< 8,5	< 13
Sodique	< 4,0	> 8,5	≥ 13
Alcaline	< 4,0	> 7,8	< 13

II.2. Les différents modes de lessivage à la C.S.S

L'expérience de la C.S.S en matière de lessivage est très grande. Elle se base sur une série de travaux et d'études en interne de plus de 50 ans dans ce domaine. Les 3 principaux modes de lessivage (Tableau 21) étudiés sont :

- Le lessivage sur sol nu par submersion et assec (vidange de la totalité de l'eau). La parcelle est aménagée en petites bandes cloisonnées et séparées par des diguettes.
- La pratique d'un lessivage avec une culture rizicole qui tend à rabaisser le taux de sel initial. C'est un procédé intéressant qui permet de rendre « utile » la parcelle par une culture alimentaire en même temps.
- Enfin, la pratique sous culture de canne d'une irrigation forte et régulière lessivante qui ne tient pas seulement compte des besoins en eau de la culture. Le sel dissous est évacué régulièrement car la parcelle ne possède pas de cordon. La canne est une culture qui n'est pas tolérante à de forts taux de salinité. C'est durant la phase de levée et de tallage qu'elle est la plus sensible aux sels, bien qu'elle puisse tolérer un certain niveau de salinité estimé entre 1,7 et 2 mmhos/cm (Meyer et al, 2013). Des niveaux de salinité plus élevés peuvent réduire fortement le développement de la plante.

Tableau 21 : Les différents modes de lessivage pratiqué à la C.S.S

Mode de lessivage	Exemple de type de parcelles lessivées	Observation
Lessivage standard sur sol nu	Parcelles à salinité intermédiaire (entre 2 et 6 mmhos/cm), anciennement cultivées en riz	Valable pour les nouvelles parcelles à récupérer
Lessivage avec culture de riz	Parcelles en sortie de friche pas encore équipées et prêtées à des producteurs (plus de 6 mmhos/cm)	Absence de drains enterrés mais lessivage rentabilisé
Irrigation lessivante en culture	Parcelles à très faible salinité (0,5 à 2 mmhos/cm) ou avec quelques poches de salinité	Irrigation de la parcelle de canne sans cordon

III. MISE EN ŒUVRE DU SYSTEME DE LESSIVAGE PAR SUBMERSION CONTROLÉE ET ASSEC

C'est la technique la plus usitée et qui concerne surtout de nouvelles parcelles jamais cultivées à récupérer ou d'ex parcelles sous riziculture. Les différentes phases actuellement retenues sont les suivantes :

III.1. Préparation de la parcelle

La préparation de la parcelle avant le lessivage passe par les différentes opérations suivantes :

- Mesure des caractéristiques physico-chimiques de chaque parcelle à lessiver et initiation d'un suivi régulier du sol. Un premier prélèvement de sol est effectué, à des horizons de 0-40cm et 40-120cm afin d'en déterminer la carte de salinité (conductivité électrique, pH), la nature du sel et la texture du sol.
- Débroussaillage manuel ou au grader
- Relevé topographique intra parcellaire ;
- Réalisation de canaux d'irrigation pour lessivage (Photo 9) ;
- Réalisation de drains à ciel ouvert et connexion avec chaque bande ;

- Installation des buses d'irrigation et de drainage de diamètre 160 mm sur les diguettes (si possible deux buses d'irrigation et deux de drainage par cloisons) ;
- Installation des boîtes de drainage (fosses de drainage) et réalisation des pistes parcellaires ;
- Pose de drain enterré entre 1,2 à 1,5 m de profondeur. L'installation obligatoire des drains enterrés pour rabattre correctement la nappe qui ne manquera pas de remonter vu les volumes d'eau utilisés mais aussi assurer une meilleure efficacité du lessivage en profondeur
- Préparation du sol. Elle est la même pour toutes les bandes :
Ripage croisé à une profondeur de 60cm pour décompacter, enfouir l'amendement (s'il y'a lieu) et faciliter l'infiltration de l'eau dans le sol
Labour pour améliorer la structure du sol et augmenter le coefficient de perméabilité.
Pré-planage avec une pente d'irrigation de 0,15% pour assurer une distribution équitable de l'eau sur chaque bande
- Mise en place d'endiguements servant à ceinturer et isoler les différentes bandes les unes des autres. Les hauteurs des endiguements doivent être de 50 cm au moins afin de pouvoir appliquer une hauteur d'eau de 30 cm sans risque de débordement Endiguement principal (hauteur minimale de 1 m) et cloisonnement (hauteur minimale de 0,6 m) afin de pouvoir appliquer une hauteur d'eau de 30 à 50 cm* sans risque de débordement. Chaque portion cloisonnée fait moins de 0,25 ha.
- Installation de buses dans diguettes, au ras du sol, à raison de 1 buse tous les 25 m. Il faut installer au moins deux buses par planches au cas où l'une d'elles est volé ou fonctionne mal. Deux buses de diamètres 160 mm et de longueur 6 m sont installées ainsi en amont et en aval de chaque bande afin d'assurer une bonne couverture en eau du sol, ainsi qu'un bon drainage des parcelles.
- Réception de la fin des travaux par la ferme agricole pour valider les travaux d'aménagement
- Installation d'un réseau de piézomètres afin de suivre, lors du lessivage, la dynamique de la nappe. Il s'agit aussi de pouvoir déceler à temps des nappes perchées éventuelles, causes majeures de remontée saline rapide après mise à sec. La pose et le suivi des piézomètres concernent aussi plusieurs aspects agronomiques pas seulement le lessivage.
- Amélioration du taux de fonctionnalité des drains enterrés par un suivi complet et rigoureux de chacun d'eux (localisation et débouchage). Il faut y associer le curage complet des drains parcellaires pour améliorer la visibilité et donc le relevé des eaux évacuées.
- Un amendement est parfois effectué dans certaines parcelles avant le labour, pour corriger le pH du sol. Cet amendement se fait par l'apport de calcaire dans les sols acides, et de gypse dans les sols alcalins afin d'optimiser et accélérer le processus de lessivage. Il faut déterminer pour chaque parcelle les besoins (ou non) de correction du pH et l'associer aux actions de mise en eau le plus tôt possible. Pour

les sols acides, un apport de 9,25 tonnes/ha de (CaCO₃) est nécessaire dans le but d'élever le pH du sol qui tire vers l'acidité (5,5 en moyenne).



Photo 9 : Vue d'un canal taluté d'une parcelle en cours de lessivage (CSS, 2019)

NB : L'utilisation de calcaire ou de gypse avant lessivage afin d'accélérer celui-ci (amélioration de la structure du sol et de son infiltrabilité) est optionnel. Le gypse est du sulfate de calcium préconisé comme amendement calcique acidifiant au niveau des sols alcalins et sodiques. Or la majorité des sols à lessiver sont à tendance acides (pH 0-60 cm de 5,7 à 6,7 des parcelles à lessiver des blocs Q, R, N). Un amendement calcique à base de calcaire faisant remonter le pH serait donc à préférer au gypse. Cependant le fait que la caractérisation des sols salés au niveau de la CSS faite en 2007 a montré que ces sels sont solubles dans l'eau (anions, chlorure et sulfate, totalement libres non fixés sur le complexe et cations, sodium et magnésium, avec plus de 50 à 85 % sous forme libre), facilite le lessivage à l'eau simple.

III.2. Cycle de lessivage :

- Il commence par la mise en eau ou submersion (Photos 10 et 11). Chaque bande reçoit à chaque mise en eau un volume d'eau infiltré et une lame d'eau permanente de 30 à 50 cm pendant 21 jours. En général, la fréquence de mise en eau sera d'une fois tous les 10 jours. Après deux (2) mises en eau successives, la parcelle est asséchée avant de faire des prélèvements d'échantillons et d'analyse au laboratoire. Il est possible de lessiver environ 70 pour cent des sels solubles présents initialement dans un profil salin en appliquant en continu une hauteur d'eau égale à l'épaisseur de sol à bonifier si la submersion est continue et le drainage suffisant (Hoffman, 1980).



Photo 10 : Parcelles cloisonnées



Photo 11 : Mise en eau pour lessivage (CSS)

Exemple de calcul de la dose de mise en eau

- Pour bonifier l'horizon 0-60 cm il faut une hauteur d'eau égale à 1/3 de la hauteur de terre à bonifier ; c'est-à-dire pour notre cas 20 cm (60 cm/3).
- À cela viendra s'ajouter l'évaporation journalière estimée à 6mm/j soit 6 cm/10j.
- En supposant qu'on draine la parcelle tous les 10 jours et en tenant compte de la percolation profonde et de l'évaporation, une marge de 4 cm est fixée afin de s'assurer qu'au moment du drainage il y aura au moins 4 cm de lame d'eau.

Tenant compte de ces trois paramètres, il a été jugé nécessaire de travailler avec une lame d'eau de 30 cm (20 cm + 6 cm + 4 cm). La relation entre la proportion de sel restant dans le profil $\frac{C}{C_0}$ (C_0 étant la concentration initiale en sel et C la concentration en sel pendant la bonification), et la quantité d'eau fournie par hauteur de sol lessivé à travers le profil dans des conditions de submersion continue, $\frac{dw}{ds}$ peut être estimée comme suit (Eq5, dw étant le volume d'eau apporté à ds le volume de sol lessivé) :

$$\left(\frac{C}{C_0}\right) \times \left(\frac{dw}{ds}\right) = 0,6 \text{ s } \frac{dw}{ds} > 0,3 \quad (\text{Eq5})$$

Les données concernant cette relation, recouvrent divers types de sols allant de la tourbe au limon sableux et à l'argile. On peut affiner l'équation en tenant compte de la concentration en sel de l'eau appliquée (C_i). Pour cela, on remplace C/C_0 par $(C-C_i) / C_0-C_i$. On obtient ainsi une meilleure estimation de d_w à mesure que C_i augmente ou que la fin de la bonification approche (que C tend vers C_i).

- Répétitions 3 fois de cette opération avant séchage d'environ 1 mois pour permettre un prélèvement de sol. En fonction des résultats des analyses sol, il y a une reconduction du cycle de lessivage après un pulvérisage 1000 croisé optionnel ou bien une décision de sortie lessivage.
- Durant toute la période de lessivage, on conseille un suivi du bon fonctionnement des drains enterrés et de l'évolution de la nappe et un entretien du réseau de drainage enterré et à ciel ouvert. La décision de sortie de lessivage est assujettie à des résultats

où 80% des points analysés ont une conductivité électrique inférieure à 2 mmho/cm et un pH compris entre 5,6 et 8 au niveau du premier horizon et 80% des points analysés ont une conductivité électrique inférieure à 4 mmho/cm et un pH compris entre 5 et 8 au niveau du deuxième horizon.

- Des amendements sont à prévoir pour améliorer la structure du sol en fonction de l'analyse avant mise en culture pour améliorer la structure de ces sols. Il s'agit du calcaire ou gypse et surtout de la matière organique comme les écumes entre 50 à 100 T/ha.

III.3. Suivi au cours des phases de submersion et d'assec

- Au cours de la submersion, nous allons procéder de manière hebdomadaire au prélèvement d'eau au niveau des drains enterrés, des drains parcellaires, et au niveau du canal d'irrigation pour analyse.
- Des mesures hebdomadaires sont effectuées pour voir l'évolution de la nappe dans le temps. Pour mesurer cette nappe, il suffit de descendre la soupape munie d'une ficelle dans le piézomètre où il fait un « plouf » caractéristique en touchant l'eau. Le niveau de la nappe est déduit en retranchant de la hauteur lue la longueur débordante du tube. Après cette mesure, on effectue un prélèvement d'eau de nappe dont l'acidité (pH) et la salinité (CE)
- Une fois la parcelle mise à sec, des échantillons de sol seront prélevés sur les deux horizons et analysés au laboratoire. Ces analyses portent essentiellement sur le pH et la conductivité électrique (CE). L'évolution de ces deux paramètres permettra d'apprécier la qualité du lessivage en cours. Il est retenu que pour prétendre avoir désaliniser une bande, la conductivité maximale doit être inférieure à 4 mmho/cm et le pH autour de la neutralité ($7 \pm 0,5$).

Les analyses eau et sol jugées satisfaisantes sur la base des recommandations seuils max ci-dessous (Tableau 22) :

Tableau 22 : Indicateurs satisfaisants de pH et CE à divers horizons avant sortie lessivage

Paramètres moyens	Horizon 0 - 60	Horizon 60 - 120	Eau de la nappe
pH	5,6 – 7,9	5,5 – 8,0	5,0 – 8,0
CE (dS/m)	0 – 2,5	0 – 4	0 - 10

Le niveau statique de la nappe doit être supérieur ou égal à 1,2 m.

- Pour l'horizon 0-60, il faut que les points de CE supérieure à 2, 5 soit inférieurs à 20 % de l'ensemble de la parcelle.
- Pour l'horizon 60 – 120, il faut que les points de CE supérieure à 4 soient inférieurs à 20 % de l'ensemble de la parcelle.

Il sera procédé aussi régulièrement à l'inventaire de la flore en présence et de la coloration du sol sur l'horizon superficiel. Ces deux éléments peuvent être des indicateurs de la salinité ou non du sol en présence.

Conclusion partielle

La restauration des sols salés de la CSS requiert une gestion de l'eau assurant une lixiviation régulière des sels de la solution du sol. Cet apport d'eau fait fluctuer le niveau piézométrique de la nappe souvent proche de la surface. Cette fluctuation de la nappe contribue à la remontée des sels dans le profil de sol par capillarité. La lixiviation des sels par drainage est nécessaire pour évacuer les sels hors de la zone racinaire des plantes.

Aussitôt cette décision de fin de lessivage retenue après étude des analyses sol et eau, il est recommandé **d'aménager la parcelle au plus vite** (dans un délai de 15 à 30 jours) pour éviter les phénomènes suivants :

- Remontée saline par capillarité surtout en conditions de fortes demandes évaporatoires sur sol nu. A ce titre, l'installation d'un réseau de drains enterrés est jugée obligatoire pour toutes les parcelles post lessivage en conduite gravitaire compte tenu du risque.
- Cassures des canaux et remise involontaire et partielle d'eau dans la parcelle
- Enherbement massif et potentiellement préjudiciable de la parcelle

Malgré les limites liées à la pratique du lessivage dans le casier, les résultats obtenus sur certaines parcelles lessivées sont plus qu'encourageants.

Le rendement moyen à la première année des parcelles lessivées à la CSS varie après plantation entre 140 T/ha à 160 T/ha de canne à sucre, avec des pics allant jusqu'à 196 T/ha. Mais elle peut décroître fortement les années suivantes si des précautions de conduite culturale ne sont pas respectées. En termes de tonnage de sucre, cela représente 14-16 T voire 19 T de sucre par hectare lessivé. Ce rendement est sensiblement supérieur à la moyenne générale des rendements de canne du périmètre (137 T/ha en 2020) soit 11-12 T de sucre/ha. Le coût d'aménagement d'un hectare à lessiver est de 3.000.000 FCFA en moyenne. Cette somme convertie en tonnage de sucre produit, est estimée à 6,25 T/ha. Le coût d'aménagement des parcelles à lessiver est bien inférieur aux potentiels de production de ces mêmes parcelles pour la canne à sucre. Une parcelle récupérée définitivement après un bon processus de lessivage est bon suivi est jugée rentable sous canne à sucre.

IV. ESSAIS DE LESSIVAGE SOUS CULTURE RIZICOLE : UNE ALTERNATIVE POUR LES PETITS EXPLOITANTS

Cette méthode de lutte contre la salinité est très intéressante car elle permet, par des apports d'eau importants durant la culture de riz, de nettoyer les excès de sel présents dans le sol et de produire au final des denrées alimentaires. La double culture rizicole (contre saison et hivernage) permet de limiter grandement les périodes pendant lesquelles le sol est à nu et propice à des phénomènes de remontée par capillarité. Malheureusement, son application pose

problème. Raes et al (1995) a étudié les besoins en eau pour un bon contrôle des rizières salées dans le Delta avec des résultats intéressants. La riziculture même non drainée diminue la salinité des sols. En effet, les conductivités électriques mesurées en laboratoire montrent une baisse de la salinité lorsque le nombre d'années d'exploitation de la parcelle en riziculture augmente. Cette diminution s'explique par l'effet bénéfique de la lame d'eau en riziculture qui bloque la remontée capillaire et lessive les sols par percolation profonde (Ndao, 2011). Cette baisse a également été observée dans le Delta du Sénégal. Les travaux de Diène (1998) ont confirmé que la riziculture, drainée ou pas, permet un dessalement de l'horizon superficiel. En effet, en riziculture irriguée, la présence d'une nappe d'eau en surface, de concentration plus faible, permet l'évacuation latérale des sels et le blocage des remontées capillaires salines depuis la nappe salée profonde.

Les paysans cultivent parfois du riz sur des sols « inaptes » à la riziculture car cela permet de lessiver les sels accumulés après quelques années de maraîchage. Un essai de drainage réalisé sur un PIV (Périmètres Irrigués villageois) du département de Podor (Hammel et al. 1999) a confirmé que le lessivage des sels s'effectuait essentiellement dans la lame d'eau superficielle et a montré l'effet d'un cycle « inondation-évacuation » avant la mise en place de la culture sur l'évolution de la salinité de l'horizon superficiel.

Les études réalisées dans le cadre du Projet de Gestion de l'Eau (Coopération Scientifique K.U. Leuven-SAED, 1998), ont montré une influence du système de culture (double ou simple) associée à la présence ou non d'un système de drainage superficiel sur le taux de salinité d'une parcelle. En effet, la moyenne de la salinité des parcelles groupées par occupation des sols croît dans l'ordre suivant : Double culture avec drainage (DC-D), Simple culture avec drainage (SC-D), Simple culture non drainée (SC-ND) et parcelle abandonnée. Donc la double culture du riz avec drainage est un moyen efficace de lutte contre la salinité (Ndao, 2011). La lutte contre les remontées capillaires peut se réaliser à plusieurs stades de la culture du riz : avant la culture avec une lame d'eau à vidanger au bout de 24 heures, pendant la culture avec un système d'apport et de vidange continu d'eau qui dissout et nettoie les sels solubles.

Les simulations faites avec le logiciel BIRIZ (SAED/KU Leuven, 1997 et 1998) ont démontré que la correction d'aménagements sur sol rizicole et la mise en place d'un réseau de drainage peuvent contribuer à limiter la recharge de la nappe et par conséquent, les remontées capillaires (Ndao, 2011). La riziculture est donc la production agricole la plus propice pour lutter contre la salinité des sols à condition d'assurer un minimum de drainage, de pouvoir laver les sols d'un excès de sels en début de culture et de pouvoir vidanger en cours de culture les parcelles pour éviter une concentration des sels dans la lame d'eau (Lacharme, 2001).

Pour cela, la riziculture est souvent pratiquée dans le Delta dans les sols salés jusqu'à diminution de leur salinité à des seuils permettant la mise en place d'autres cultures tel que la canne à sucre ou le maraîchage.

Ainsi, la CSS en collaboration avec l'Africa Rice (ex ADRAO) a travaillé pour trouver des méthodes efficaces de lessivage de ses sols salés de ces zones d'extension (Diovol) tout en y pratiquant la riziculture. Pour ce faire, un programme de recherche a été mis en place par ces deux structures. Il consistait dans un premier temps à sélectionner des variétés adaptées aux conditions édaphiques de Diovol (pH acide, conductivité électrique élevée, faible teneur en matière organique), puis à trouver des amendements et une fertilisation minérale adéquates

permettant d'améliorer les propriétés physicochimiques et biologiques de ces sols, tout en assurant des récoltes satisfaisantes de riz.

Vu l'aptitude du riz à se développer sur sol salé, il est plus bénéfique d'effectuer le lessivage en cultivant du riz qu'en le faisant sur sol nu. En effet, la riziculture permet non seulement de baisser la salinité des sols, mais également d'améliorer ses propriétés biologiques et physicochimiques.

L'objectif général de l'étude est donc :

- Evaluer l'effet des amendements et de la fertilisation minérale sur la salinité des sols cultivés en riz
- Evaluer l'effet des amendements et de la fertilisation minérale sur la riziculture en terre salée.
- Elaborer un protocole de lessivage des sols salés cultivés en riz

L'étude a fait ressortir qu'une forte salinité (entre 6 et 6,2 dS/m) pouvait être baissée significativement sur 7 traitements après un cycle de culture de riziculture de 3 mois (entre 0,25 et 0,8 dS/m) sur l'horizon 0-20 cm. Cependant cette baisse de conductivité est plus faible sur les horizons inférieurs (80-120 cm).

Le pH a globalement augmenté au niveau de tous les traitements à des niveaux identiques. On s'attendait à enregistrer une augmentation significative du pH au niveau des parcelles ayant reçu la chaux mais tel ne fut pas le cas. Tout s'est déroulé comme si l'effet de l'eau d'irrigation sur le pH et la CE l'a emporté sur tous les autres paramètres.

Le suivi des fluctuations de la nappe phréatique réputée être salée et acide ainsi que la perméabilité du sol aurait peut-être pu nous donner des explications sur la baisse relativement faible de la CE en profondeur par rapport aux horizons superficielles. Il aurait été sûrement intéressant de faire l'analyse chimique des eaux de drainage pour voir si nos traitements n'ont pas été lessivés.

Il découle de cette étude que la riziculture irriguée dans le casier de la C.S.S n'entraîne pas une salinisation des sols, mais elle permet au contraire d'éliminer les sels et les ions hydrogènes accumulés dans les horizons de surface et de les bloquer à l'intérieur. L'excès d'eau pour l'irrigation de la riziculture explique ce dessalement et cette déshydrogénation superficielle entraîne une évaporation latérale des sels, mais aussi un blocage en profondeur des sels et des ions hydrogènes. Les analyses nous ont montré que le riz a la capacité de diminuer les excès de sels et les ions hydrogènes, même sans apport d'amendement.

Cependant la non culture des terres des parcelles de la CSS qui se caractérise par un sol argilo-limoneux, une nappe phréatique peu profonde risque d'engendrer une salinisation et une acidification des sols, à cause d'une forte évaporation de la zone.

L'apport de fumure azotée et de potassium (150N-60K₂O) et d'un amendement comme la vinasse à une dose de 500 litres par hectare stimulerait davantage l'activité photosynthétique du riz et pourrait faciliter l'absorption des éléments nutritifs par le riz et diminuer davantage le contenu en sels et ions hydrogènes dans l'horizon 0-80cm.

Le rendement maximum, en riz a été obtenu par le traitement ayant reçu la fumure minérale complète ainsi qu'un amendement organique de 100 T/ha de boue. Il serait donc bénéfique au riziculteur cultivant dans ces sols salés de les amender avec de la boue d'usine (100T/ha).

V. TECHNIQUE DES IRRIGATIONS D'APPOINT LESSIVANTES SUR PARCELLE SOUS CANNE A SUCRE

La gestion des poches de salinité résiduelle dans les champs de la CSS a toujours été une préoccupation de la CSS (Béye et Marion, 1988 ; Séné, 1999). Différents modes de gestion de ce facteur limitant ont été pratiqués à la CSS :

- Irrigation avec submersion : en grande canne on peut pratiquer une irrigation classique en augmentant de façon conséquente la quantité d'eau libre laissée dans la parcelle après désamorçage (submersion des billons). Il s'agit de dissoudre le maximum de sels qui pourront être éliminés lors de la phase de drainage. Cette pratique n'est plus appliquée.
- Irrigation avec augmentation des fréquences : entre deux irrigations classiques on pratique une irrigation supplémentaire rapide raie aval ouverte en augmentant le débit par sillon à l'aide de plusieurs siphons. Cette irrigation supplémentaire ou fraction de lessivage a pour objectif de continuer le processus de lessivage des sels résiduels durant la culture. Les siphons sont désamorcés et la parcelle drainée dès que le front d'humectation atteint la fin des sillons.

Il est entendu que ces pratiques pour avoir un effet de désalinisation doivent être associées à un réseau de drainage (drainage de surface et drainage profond) efficient (Delacourt, 1998).

Cette dernière méthodologie, malgré des besoins supérieurs en main-d'œuvre, se développe sur les zones réputées salées qui représentent 5 à 10% de la surface sous canne. Cette étude est une première approche qui, à partir de données d'exploitation, montre l'intérêt de cette pratique sur les rendements. L'introduction de l'irrigation par tuyaux souples pourrait résoudre certaines des contraintes observées.

V.1. Matériels et méthodes

V.1.1. MESURE DE LA SALINITE DES SOLS A LA CSS

A la CSS la salinité des sols est mesurée systématiquement dans deux cas de figure :

1. Parcelles en cours de lessivage : un sondage avec prélèvement d'échantillons selon un maillage 40 m x 40 m est réalisé. Au niveau de chaque sondage, deux échantillons (0-60 cm et 60 – 120 cm) sont prélevés. La conductivité électrique de la pâte saturée de ces échantillons est alors mesurée.
2. Parcelle à labourer : pour chaque parcelle à labourer un sondage avec prélèvement d'échantillons selon un maillage 80m x 80 m est réalisé. Au niveau de chaque sondage, un échantillon (0-60 cm) est prélevé. La conductivité électrique de la pâte saturée de ces échantillons est alors mesurée.

Par ailleurs, les observations réalisées par les fermiers après plantation (mauvaise germination, remontées blanchâtres ou tâches huileuses, stress réguliers, ...) permettent d'identifier sur le terrain la présence de poches résiduelles de salinité (Photo 12 et Photo 13). Ces dernières

observations permettent aux fermiers de mettre en œuvre un mode de gestion de la salinité résiduelle en culture de canne.



Photo 12 : Effet du sel sur la levée de la canne

Photo 13 : Remontée saline sur jeunes cannes

V.1.2. CHOIX DU DOMAINE D'ETUDE

Dans l'objectif de la présente étude il a été recherché un ensemble de parcelles présentant les deux caractéristiques suivantes :

- la présence de poches résiduelles de salinité du fait d'une sortie récente de lessivage (mise en évidence par la carte de salinité réalisée après le lessivage) ou avérées par les observations des fermiers (confirmation par les mesures de salinité réalisées lors des replantations) ;
- l'existence d'un réseau fonctionnel de drains enterrés et de drains à ciel ouvert, conditions sine qua non à la désalinisation progressive recherchée à travers ces pratiques d'irrigation.

V.1.3. HISTORIQUE DES RENDEMENTS ET DES PRATIQUES SUR PARCELLES A SALINITE RESIDUELLE

Au niveau des parcelles étudiées, la nature du mode de gestion de la salinité résiduelle a été retrouvée pour les 10 dernières années. La pratique de l'irrigation avec augmentation de fréquence a débuté en 2008 à la ferme 3 et s'est développée dans les autres fermes entre 2010 et 2012. Pour atténuer le biais lié aux autres facteurs pouvant influencer sur les rendements, ce sera essentiellement un indice de rendement qui sera commenté. Cet indice a été calculé comme indiqué ci-après.

Indice de rendement d'une parcelle A l'année N = (Rendement ramené à 12 mois de la parcelle A pour l'année N / Rendement moyen ramené à 12 mois de l'année N des parcelles ayant la même variété, le même cycle et la même période de récolte que la parcelle A) x100

Nous obtenons une formule de type (Eq6) :

$$IA(N) = \frac{\text{Rdt A (N)} * \frac{12}{\text{Age}} (\text{mois})}{\text{Rdt moyen (N)} * \frac{12}{\text{Age}} \text{moyen (mois)}} \times 100 \quad (\text{Eq6})$$

La moyenne de cet indice de rendement avant et après la mise en œuvre de la pratique d'irrigation avec augmentation de fréquence a été calculée. L'objectif final est d'essayer de mettre en évidence un éventuel effet de cette pratique sur les rendements (Sall et al, 2015).

V.1.4. SUIVI DU SYSTEME D'IRRIGATION GRAVITAIRE PAR TUYAU SOUPLE

Une étude comparative entre les systèmes gravitaires à la raie avec canal (Photo 14) et avec tuyau souple (Photo 15) a également été menée sur la parcelle Kh13j.

Cette étude a permis de comparer certains paramètres techniques des différents systèmes d'irrigation, en particulier la consommation de main d'œuvre

Le test a été mis en place sur 4 bandes de la parcelle Kh13J. Deux bandes ont été équipées pour une irrigation gravitaire par siphons et les deux autres bandes par une irrigation par tuyaux souples. La parcelle a été plantée le 26/12/2008 avec la variété N 14, les 4 bandes étant conduites avec les mêmes pratiques culturales en dehors des fréquences d'irrigations.

Certaines caractéristiques de l'irrigation (débit des siphons, fréquence et durée d'irrigation, besoin en main-d'œuvre...) ont été mesurées sur la vierge et la première repousse.



Photo 14 : Canal pour irrigation par siphons



Photo 15 : Irrigation avec tuyau souple

V.2. Résultats et discussions

V.2.1. RESULTATS DU SUIVI DES AUGMENTATIONS DE FREQUENCE D'IRRIGATION

L'étude du réseau de drainage, des données de sol et des pratiques d'irrigation dessalissant dans le périmètre a permis de suivre 28 parcelles avec salinité résiduelle dont 11 sont sorties du processus de lessivage et 17 présentes des zones salées connues par les fermiers. Ces 17 parcelles ont évolué d'une conduite conventionnelle à la pratique étudiée.

Pour les 11 parcelles récemment sorties du lessivage (Tableau 23), les indices de rendements sont quasiment équivalents voir supérieurs au rendement moyen du périmètre (indice de rendement moyen supérieur à 100). Toutes ces parcelles ont été conduites avec augmentation des fréquences d'irrigation. C'est un excellent résultat dans la mesure où par le passé les

rendements moyens obtenus après sortie lessivage étaient nettement inférieurs aux rendements des parcelles classiques.

Tableau 23 : Evolution des indices de rendements au niveau des parcelles à salinité résiduelle du fait d'une sortie récente de lessivage

Parcelle suivie	CE moyen (mmho/cm)	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15
K 6a 1	0,6	122	91,9	96,2	93,5
K 6b 1	0,4	132,1	106	131,9	137,4
K 6b 2	1,6		81,3	78,8	101,4
K 7a	2,5		85,6	79,3	102,1
K 7a 2	2		73,1	77,5	89,2
K 7b	1,5		89,6	77,7	88,9
MB 6H 1	1,3		123,8	107,1	121,4
MB 6H 2	2,6				158,1
MB 6H 3	2		133,6	110,2	107,9
MB 7A 1	0,6	135,5	116,7	112,7	108,4
MB 7A 5	2,3	118,4	97,6	110,5	94,6

Le Tableau 24 montre l'évolution des indices de rendement au niveau des 17 parcelles étudiées pour leur salinité résiduelle déterminée par observations terrain. Même si l'utilisation d'indice de rendement a pour objet d'éliminer les effets sur les rendements de paramètres agronomiques connus : variété, période de récolte, âge à la récolte, cycle, climat et améliorations globales des pratiques culturales depuis 10 ans... Il n'en demeure pas moins qu'un certain nombre d'autres facteurs en dehors du type d'irrigation ont eu une influence sur les résultats présentés : replantation ou pas après jachères nu, mise en œuvre d'amendement notamment organique (Sall et al, 2015).

Cependant la tendance générale (15 sur 17) soit 88,2 % de ces parcelles montrant une amélioration de l'indice de rendement après la mise en œuvre de l'augmentation des fréquences va dans le sens de l'intérêt de cette pratique pour la productivité des parcelles présentant une salinité résiduelle (Tableau 24). La moyenne des indices de rendement avant et après mise en œuvre de la pratique passe de 94,2 à 99.

Tableau 24 : Evolution des indices de rendement au niveau des parcelles à salinité résiduelle étudiées

Parc.	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	Avant	Après
F 6a	92,5	114,5	101,6	98,8		106,0	99,1	95,1	95,1	101,0	101,8	99,3
F 6b	90,2	82,8	87,4	85,1		95,6	95,8	83,0	90,1	88,5	86,4	90,6
F10a	102,4	100,0	91,5	78,5	87,1	78,0		94,1	96,3	93,0	89,6	94,5
J 1b	80,4	98,7	93,2	94,5	97,2		104,7	98,7	97,7		92,8	100,3
KH13J					117,6	128,5	119,0	115,0	119,3	162,0	123,1	128,8
L 3b	93,6	98,8	92,6	96,9	90,4	88,3	77,3	78,0		106,6	89,5	106,6
L 6a	100,2	99,9	99,6	103,9	95,0	95,9	99,6	97,7	92,1	102,3	99,0	97,2
L 7a	92,0	105,0	102,8	105,2	92,6	101,3	87,1	92,9	104,9	97,6	97,4	101,2
L 7b	95,6	105,9	98,7	102,9	97,6	97,2	87,2	97,0	101,4	96,9	97,8	99,1
MB 2A	83,6	80,0	73,1	92,4	96,8	80,4	84,7		99,2	88,8	78,9	90,4
MB 2C	93,0	87,3	91,2	92,3	106,0	100,0	99,8		96,5	85,7	90,5	96,7
MB 2E	96,4	97,9	92,1	91,0	99,1	104,2	91,1		110,2	88,7	95,5	97,4
N 1a	97,5	95,4	87,0	92,5	94,8	101,6	99,7	104,2	98,8	98,8	96,6	98,8
Q 1b	72,4	84,8		100,7	91,9	92,0	87,0	91,9	90,6	92,7	88,7	91,6
Q 6a	88,6	57,9	88,0	88,9	85,1	85,6		89,0	93,6	97,1	83,3	95,4
R 6a	93,1	106,1	95,4	98,8	103,7	95,4	100,3	99,5		100,3	99,0	100,3
R 7c	94,7	97,2	99,9	90,3	81,8		86,7	95,0	91,7	96,9	92,2	94,3

Avant : avant mise en œuvre de l'irrigation avec augmentation de fréquence (cellule claire)

Après : après mise en œuvre de l'irrigation avec augmentation de fréquence (cellule en grisé du tableau)

Même si un essai agronomique avec dispositif statistique et contrôles des différents facteurs de nuisance serait nécessaire pour confirmer, les éléments de rendement analysés et les observations aux champs permettent déjà de conforter l'intérêt de la pratique de l'augmentation des fréquences d'irrigation en zones salées. La principale contrainte qui se pose avec cette technique reste l'augmentation importante des besoins en main-d'œuvre qu'elle nécessite en comparaison avec l'irrigation gravitaire classique.

V.2.2. ESTIMATION DE CONSOMMATION EN MAIN D'ŒUVRE DES SYSTEMES D'IRRIGATION

Le suivi de la conduite sur les 4 bandes de la parcelle Kh13J illustre les gains de main d'œuvre lié au tuyau souple lié entre autres au débit meilleur et au déclenchement automatique (Tab 25).

Tableau 25 : Données d'irrigation de l'essai KH13J

Type d'irrigation	Canal	Canal	Tuyau souple	Tuyau souple
Parcelle	Kh13 J1	Kh13 J4	Kh13 J2	Kh13 J3
Surface (ha)	1	0,8	1,15	0,8
Durée maximale d'une irrigation	24h	24h	7h37 mn	5h27 mn
Durée minimale d'une irrigation	7h15mn	8h20mn	2h10mn	2h13mn
Débit moyen des siphons (l/s)	0,13	0,11	0,24	0,22
Profondeur max humectée (cm)	61	46	40	53
Besoin personnel amorçage	2 hommes x 2 heures		1 homme x 15 mn	
Suivi et arrêt	2 quarts de 2 hommes chacun		1 homme en 30 mn	

Si le ratio de main d'œuvre pour une irrigation gravitaire (canal et siphons) est de 0,08 homme/ha/jour, il passe à 0,02 homme/ha/jour en tuyau souple.

Le Tableau 26 présente une simulation de la consommation de main d'œuvre de ces différents systèmes pour un tour moyen d'irrigation de 10 jours et 37 cycles par an.

Tableau 26 : Synthèse des besoins en main-d'œuvre par système d'irrigation

Type d'irrigation	Irrigation classique avec canal	Irrigation avec augmentation de la fréquence et avec le canal		Irrigation avec augmentation de fréquence et le tuyaux souple		
		Première irrigation (3 jours)	Deuxième irrigation (2 jours)	Première irrigation (3 jours)	Deuxième irrigation (2 jours)	Gardiennage supplémentaire (10 jours)
Activité d'irrigation/cycle	Irrigation unique (3 jours)	Première irrigation (3 jours)	Deuxième irrigation (2 jours)	Première irrigation (3 jours)	Deuxième irrigation (2 jours)	Gardiennage supplémentaire (10 jours)
Ratio homme/ha/j	0,08	0,08	0,06	0,02	0,02	0,02
Ratio homme/ha/cycle	0,24	0,36		0,24		
Nombre annuel de cycles	37	37		37		
Journées de travail/ha/an	8,88	13,32		8,88		

Ce tableau n° 26 montre que l'augmentation des fréquences d'irrigation peut être permise en tuyaux souples sans augmentation du besoin en main-d'œuvre, ce qui n'est pas le cas avec le canal.

Autres avantages liés à ce système :

- Meilleure efficacité de l'apport avec un plus grand débit et une réduction des pertes par drainage de 35% par rapport à l'irrigation avec canal
- Une réduction de 75% des besoins en main d'œuvre, surtout pour démarrage et l'arrêt des apports
- Une réduction des pertes de surface cultivable (surface nette) qui passe de 15 à 9% avec l'effacement des canaux.

Conclusion partielle

Cette étude menée à partir de données disponibles au niveau de l'exploitation agricole, montre qu'en production irriguée de canne à sucre sur sols avec des poches de salinité résiduelle, l'augmentation des fréquences d'irrigations accompagnée d'un drainage profond est très favorable à la culture et à la baisse de la salinité. Cette pratique est cependant plus demandeuse en main-d'œuvre.

Le système d'irrigation gravitaire par tuyaux souples semble mieux adapté à la mise en œuvre de cette approche. En effet, du fait du déclenchement et de l'arrêt rapide et aisé des irrigations elle permet d'accroître les fréquences d'irrigation tout en maintenant le besoin en main-d'œuvre, ce qui permet une maîtrise des coûts tout en baissant la consommation en eau.

Le développement des tuyaux souples au niveau des zones présentant une salinité résiduelle est donc encouragé. Par ailleurs, cet équipement est à conseiller au niveau des parcelles en cours de mise en valeur par lessivage pour permettre une meilleure conduite de la canne à sucre, au niveau des poches salées résiduelles, les années suivant la mise en culture. Ces actions sont à conjuguer avec le suivi et l'amélioration du réseau enterré de drainage qui est l'accompagnement obligatoire des actions de désalinisation par irrigation durant le cycle.

CHAPITRE 7 :

Efficiencce des systèmes d'irrigation de surface : optimisation des pratiques à l'aide des calendriers d'irrigation générés avec AquaCrop

Ce chapitre a servi de base pour deux articles comme co-auteur :

- ✓ (Wellens J et al): *Processing chain for parcel & regional crop monitoring (PROCCY): Open Data, Sentinel-2, AquaCrop and sugar cane, ICROPM, février 2020.*
- ✓ (Wellens J et al): *Assimilation of Sntinel-1 change detection in the AquaCrop model: case of sugarcane. IGARSS, 4p. Janvier 2021.*

Le modèle de simulation de rendement AquaCrop utilisé dans le cadre de la production de sucre de canne est un outil d'aide à la décision. Après la validation du modèle, des estimations de rendements pourront être effectuées à l'échelle de l'ensemble des parcelles de canne à sucre suivies. Nous avons profité de ce projet pour arriver à réaliser des calendriers d'irrigation permettant une utilisation plus efficace de l'eau et une production maximale de canne.

L'irrigation de surface à la raie à la CSS est pratiquée depuis presque 50 ans. S'il est vrai que sa problématique centrale reste le cas des sols et nappes salées qui constitue une contrainte à sa bonne mise en œuvre, l'amélioration du management de l'irrigation est une demande technique pour accroître son efficacité. En plus de pratiques adaptées (siphons à gros débits), de techniques nouvelles et durables (tuyaux souples), des outils d'aide à la décision fiables peuvent être utiles pour mieux piloter les apports. Le logiciel *AquaCrop* développé par la FAO depuis 2007 (Raes, et al, 2011 et 2012) en fait partie. C'est un logiciel qui simule les relations sol-plante-eau à travers un bilan hydrique et a été largement testé sur plusieurs cultures dans plusieurs contextes agro-pédo-climatiques. Wellens (2014) cite le quinoa en Bolivie (Geerts, 2009), le maïs en Californie (Hsiao et al., 2009), l'orge en Afrique subsaharienne (Araya et al., 2010a), le teff en Ethiopie (Araya et al., 2010b), le blé en Iran (Andarzian et al., 2011) et dans l'Ouest canadien (Mkhabela et Bullock, 2012), le chou au Burkina Faso.

Une étude en collaboration entre l'université de Liège, le Centre de Suivi Ecologique de Dakar et la Compagnie Sucrière Sénégalaise de Richard Toll a été faite entre 2017 et 2019. Elle a pour objet final la calibration et amélioration par assimilation des données issues de la télédétection du modèle AquaCrop pour une culture irriguée, la canne à sucre, et s'inscrit au sein du projet « *Research Programme for Earth observation Stereo III : Basic Research In Support to EO_Regions (BARISEOR)* » (financement BELSPO). Le département ULiège bénéficie d'une expérience dans la prévision des rendements de cultures illustrée par des projets de recherche combinant la télédétection et les données agrométéorologiques dans l'analyse de la croissance des cultures, et ce, à différentes échelles et dans différents contextes. Des outils de support et d'aide à la décision de ce type dans le secteur de l'agriculture ont notamment été développés en Belgique, en Arménie, au Burkina Faso, en Chine, en Ethiopie, au Maroc et au Niger.

Le modèle de simulation de rendement AquaCrop utilisé dans le cadre de la production de sucre de canne est un outil d'aide à la décision. Après la validation du modèle, des estimations de rendements pourront être effectuées à l'échelle de l'ensemble des parcelles de canne à sucre suivies. Nous avons profité de ce projet pour arriver à réaliser des calendriers d'irrigation permettant une utilisation plus efficace de l'eau et une production maximale de canne.

I. METHODOLOGIE

La zone d'étude est située à Richard Toll (Saint-Louis) au nord-ouest du Sénégal, à la frontière de la Mauritanie et du fleuve Sénégal. Son climat peut être défini comme aride, avec une température annuelle moyenne de 28,8 °C et des précipitations annuelles moyennes d'environ 250 mm. La faible quantité de précipitations et les valeurs de température relativement élevées justifient la nécessité d'irriguer la canne à sucre dans cette partie nord du Sénégal.

I.1. Données parcellaires

Les 16 parcelles de canne à sucre suivies à la CSS sont plantées avec la variété N14 et sont en 2ème cycle (Tableau 27). Les parcelles avaient différents types de sol (argile, argilo-limoneuse et limoneuse) et sont conduites sous une irrigation de surface à l'aide de siphons à déclenchement manuel (Photo 16). Ils ont été sélectionnés conjointement parmi un ensemble d'environ 750 parcelles.



Photo 16 : Irrigation de surface d'une jeune canne Photo 17 : Échantillonnage de la canne à sucre pour en déduire la matière sèche

Les types de sol étudiés étaient représentés dans toutes les parcelles choisies et les caractéristiques standard des sols d'AquaCrop ont été utilisées. Les données climatiques (précipitations, humidité relative, et température minimale et maximale) ont été enregistrées dans une station météo du périmètre. L'ET₀ a été calculé selon la méthode Penman-Monteith modifiée. Les doses et les intervalles d'irrigation ont été suivis durant le cycle cultural et produites à la CSS.



Photo 18 : Récolte de canne à sucre brûlée ; les chargements des camions sont pesés pour obtenir la biomasse de chaque parcelle.

Des échantillons de biomasse ont également été prélevés juste avant la récolte afin de déterminer le pourcentage de matière sèche (photo 17). Comme la canne à sucre est brûlée avant la récolte pour faciliter le travail sur le terrain, le pourcentage de matière sèche a été obtenu à partir de la canne à sucre fraîche et brûlée. La différence était négligeable : la matière sèche représentait 65,3 % du poids total pour la canne à sucre fraîche et 61,3 % pour la canne à sucre brûlée. Pour toutes les parcelles, la biomasse totale de canne brûlée par ha était disponible, puisque les chargements des camions sont pesés avant d'entrer dans l'usine de transformation de la canne à sucre (photo 18).

Tableau 27 : Caractéristiques principales des parcelles suivies

Parcelle	Variété	Sol	Date de Plantation	Irrigations [Nbre]	Biomasse sèche observée [t/ha]	Biomasse sèche simulée [t/ha]	Différence entre biomasse sim-obs
A5A	N-14	Argile	09-02-17	27	50,16	49,32	- 1,7 %
A5B	N-14	Clay	09-02-17	27	49,20	48,95	- 0,5 %
KH12D	N-14	Clay	07-02-17	20	41,98	50,66	+ 20,7 %
KH12E	N-14	Clay	05-02-17	20	52,69	49,14	- 6,7 %
MB1C	N-14	Clay	02-03-17	20	52,09	52,84	+ 1,4 %
MB2F	N-14	Clay	06-04-17	28	43,83	50,39	+ 15,0 %
MB2K	N-14	Clay	06-03-17	26	48,67	50,35	- 8,5 %
MB3C	N-14	Argile	08-03-17	17	52,67	48,21	+ 1,0 %
B5A	N-14	Arg-limo	22-02-17	-	58,60	59,21	- 0,8 %
B5B	N-14	Arg-limo	22-02-17	18	57,32	56,88	+ 3,2 %
D2A	N-14	Arg-limo	14-03-17	19	55,47	55,41	+ 10,9 %
D2B	N-14	Arg-limo	13-03-17	20	56,85	55,01	+ 3,6 %
F5	N-14	Arg-limo	27-03-17	32	41,44	45,95	- 12,8%
C6A	N-14	Limoneux	01-02-17	26	46,25	47,90	+ 1,0 %
C6B	N-14	Limoneux	01-02-17	26	46,87	40,86	
F5A	N-14	Limoneux	28-03-17	34	41,34	41,74	

La CSS possède des données depuis plus de 40 ans. Les données météorologiques, pédologiques et de rendements sont donc disponibles à l'échelle de la CSS. Dans le cadre de cette étude, l'utilisation des données des 10 dernières années a été suffisante. Les moyennes historiques de la profondeur de la nappe sont également disponibles. Concernant la mise à jour des données pédologiques, des prélèvements de sol à la tarière ont été effectués dans chaque placette pour mettre en évidence l'épaisseur des différentes couches de sol. Les prélèvements ont été réalisés sur les deux couches (0-60 cm et 60-120 cm) pour évaluer la texture. Cette dernière donnée est nécessaire pour valider les données piézométriques (Luc, 2017). Cependant, les données de rendements de la canne à sucre, tous cycles confondus, ne sont pas disponibles par texture de sol car la majorité des parcelles présente une hétérogénéité au niveau de la texture du sol ne permettant pas de lier les données de rendements à celle-ci. En définitive, la texture du sol de chaque parcelle reprise dans les simulations a été celle correspondant au plus important pourcentage en termes de surface qui s'y retrouvait.

Les données climatiques concernent les températures journalières maximales et minimales issues des fichiers des années 2017 et 2018 et l'évapotranspiration réelle calculée sur la base de l'Evapo bac classe A.

Le fichier irrigation a été réalisé sur base du calendrier d'irrigation réel de la saison 2017-2018.

I.2. Données Satellite

I.2.1 PRODUITS DERIVES DE SENTINEL 2 ET SUIVI DE LA CROISSANCE DE LA CANNE A SUCRE

L'ensemble de données Sentinel a été téléchargé sur le site de l'ESA <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>, du 29 janvier 2017 au 08 avril 2018, période qui couvre le cycle de croissance des plants de canne à sucre sur les parcelles étudiées. Les images Sentinel-2 correspondent au produit standard de niveau 1C qui est composé de tuiles de 110 km x 110 km dans la projection UTM/WGS84 et fournit la réflectance de la Top-Of-Atmosphere (TOA). Seules les images dont la couverture nuageuse est inférieure à 20 % ont été prises en compte. Les images avec des nuages sur les zones d'intérêt ont également été exclues de l'ensemble de données. Afin de réduire les effets des nuages et des aérosols (sous forme de poussière sèche) sur la qualité des images, le niveau 1C a été corrigé à l'aide du processeur Sen2Cor (version 6.0.0) via le logiciel Sentinel Application Platform (SNAP). Le niveau 2A de Sentinel2 a ainsi été doté de la réflectance Top-Of-Canopy (TOC) rééchantillonnée pour toutes les bandes à une résolution spatiale de 10 m.

I.3. AquaCrop

I.3.1 DESCRIPTION DU MODELE

Le modèle AquaCrop prédit le rendement et la biomasse des cultures en réponse à l'eau dans des conditions de pluviométrie, de déficit ou d'irrigation satisfaisante. Après avoir séparé l'évapotranspiration en : (i) la transpiration des cultures (Tr) (qui est la quantité d'eau prise par les racines et utilisée pour le métabolisme des cultures) et (ii) l'évaporation du sol (qui est la quantité d'eau perdue dans l'atmosphère), la croissance de la biomasse (B) est simulée par sa relation linéaire supposée avec la transpiration des cultures (Tr). Cette séparation permet

d'éviter l'effet confondant de l'utilisation de l'eau à des fins de consommation non-productive. Un paramètre de productivité de l'eau (WP) convertit la transpiration réelle des cultures en biomasse. Pour un temps et des conditions climatiques donnés, la biomasse est le résultat de la productivité de l'eau et de la transpiration accumulée (Eq.7).

$$B = WP \cdot \Sigma Tr \quad (\text{Eq.7})$$

$$WP^* = B / \Sigma (Tr / ET_o) \quad (\text{Eq.8})$$

$$Y = HI \cdot B \quad (\text{Eq.9})$$

Le WP est un paramètre spécifique à la culture qui définit la quantité de biomasse produite par unité d'eau consommée. Si elle est normalisée pour l'évapotranspiration (Eq.8), elle reste pratiquement constante dans toute une série d'environnements, ce qui rend AquaCrop applicable dans divers endroits et à différentes saisons. WP^* représente la productivité normalisée de l'eau. Pour la plupart des cultures, seule une partie de la biomasse produite est considérée comme récoltable. Ce rendement récoltable (Y) est le produit de l'indice de récolte (HI), également un paramètre spécifique à la culture, et de la biomasse (Eq.9). Aucun processus hiérarchique ou physiologique intermédiaire n'est pris en compte dans la simulation de la croissance de la biomasse. Par conséquent, le modèle reste simple et robuste, ne nécessitant qu'un nombre limité de paramètres d'entrée. En outre, la transpiration des cultures et donc leur développement sont déterminés par la couverture du sol du couvert végétal (CC ou $fCover$; couverture fractionnée de la couverture verte par unité de sol), au lieu de l'indice de surface foliaire (LAI) habituel.

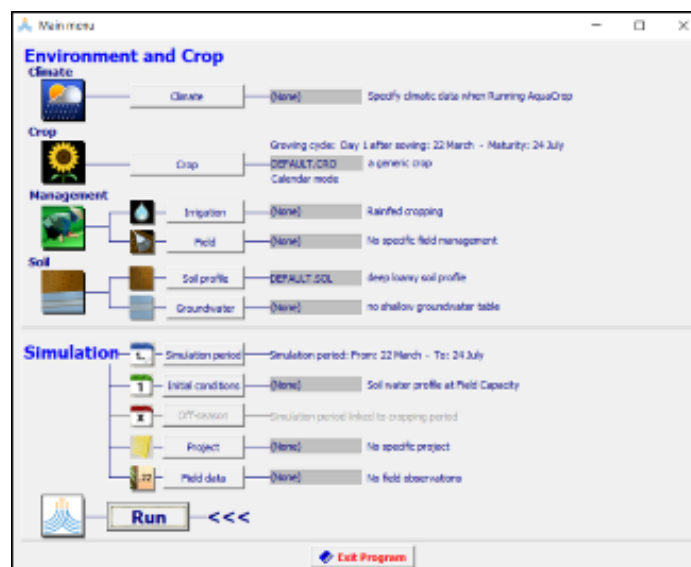


Figure 11 : Interface AquaCrop (Manuel AquaCrop)

Deux types de paramètres sont différenciés dans AquaCrop : (i) les paramètres fixes ou conservateurs, et ii) les paramètres spécifiques ou non conservateurs (Fig 11). Les paramètres conservateurs ne sont pas influencés par la géographie, la gestion des parcelles et le temps. Ils restent constants pour les différentes variétés et les conditions agrométéorologiques. Ils sont

obtenus dans des conditions de culture non limitatives et restent applicables en cas de stress grâce aux fonctions de réponse au stress nécessaire. Les principaux paramètres conservateurs sont : les coefficients de croissance du couvert végétal (*CGC*) et de diminution du couvert végétal (*CDC*), le coefficient de transpiration des cultures du couvert complet (*Kc*), le *WP* de la biomasse et les seuils d'épuisement de l'eau du sol. Les autres paramètres des cultures sont spécifiques à chaque cas et non conservateurs (par exemple, la densité de plantation, la durée des stades phénologiques), et sont influencés par le climat, les pratiques de gestion des parcelles et le type de sol. Ils doivent être fournis pour chaque cas spécifique ou peuvent, si nécessaire, être estimés par le modèle. La base de données AquaCrop est déjà fournie avec un ensemble par défaut de fichiers de cultures calibrées et les résultats de recherche sur ces cultures sont largement disponibles dans la littérature.

Autant l'interface est assez simple, autant le schéma de calcul d'AquaCrop (Fig. 12), invisible pour l'utilisateur, est assez complexe. L'échelle temporelle retenue par AquaCrop est de 24 heures. Le bilan est donc revu journalièrement.

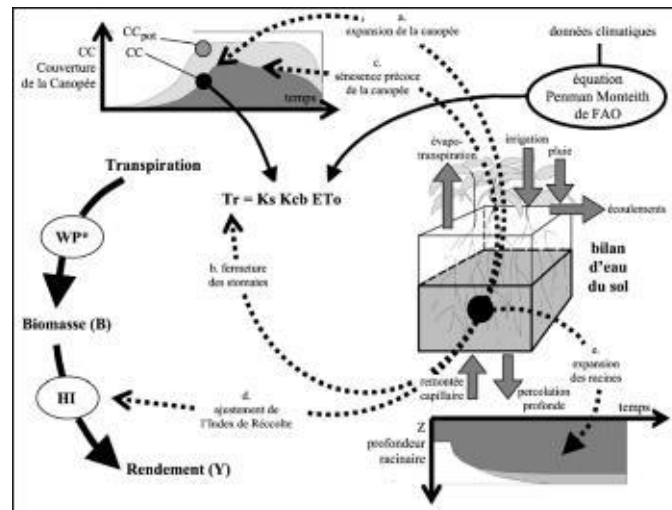


Figure 12 : Schéma de calcul dans AquaCrop indiquant les processus affectés par les stress hydriques (de a à e) et les étapes conduisant à la prévision du rendement (Manuel AquaCrop).

1.3.2 ASSIMILATION DU MODELE

L'assimilation s'est d'abord concentrée sur la récupération de la couverture maximale de chaque parcelle à partir des séries chronologiques de fCover du satellite et sur leur intégration dans la chaîne de traitement. Ces valeurs se sont toutefois révélées assez constantes, ce qui n'est pas surprenant étant donné la densité de plantation également constante et le suivi intensif des parcelles de canne à sucre pendant leur phase de développement.

Le temps entre la plantation et la levée est un autre paramètre important dans la simulation de la croissance des cultures puisque cette information déclenche le démarrage de la simulation. Lorsqu'il est mal défini, on observe un écart entre le cycle de culture réel et le cycle simulé. La seconde assimilation a donc consisté à mettre à jour les dates de levée du modèle avec les dates

de levée dérivées des séries chronologiques de fCover. Cela a permis de faire correspondre, pour chaque parcelle, le cycle de culture observé par le satellite avec celui simulé.

1.3.2 PROCEDURE DE CALIBRATION

Par essais et erreurs, les paramètres de culture les plus importants d'AquaCrop ont été ajustés jusqu'à obtenir une erreur minimale entre la couverture de la canopée observée et simulée et la biomasse aérienne sèche. Un tableau de bord a été développé pour aider à l'évaluation graphique des résultats de la simulation (figure 13). La figure 13.a représente l'évolution simulée du fCover (ligne noire) et les valeurs de fCover dérivées du satellite (points gris). Le bilan hydrique simulé est présenté à la figure 13.b. La vitesse de vidange du profil du sol est représentée par la ligne noire. Les pointillés gris représentent le taux d'épuisement à la capacité du champ (taux d'épuisement = 0) et au point de flétrissement permanent (taux d'épuisement = 300, pour un sol argileux dans ce cas précis). Les lignes verticales bleues représentent les différents événements d'irrigation. Différents stress hydriques peuvent survenir et entraver le développement de la biomasse. Si le taux d'épuisement tombe en dessous d'un de ces seuils de stress, un impact négatif sur la biomasse finale sera observé. Les différents stress sont : (i) vert : le développement de la canopée peut être retardé par des stress hydriques pendant le stade de développement ; (ii) rouge : stress hydrique provoquant la fermeture des stomates en raison d'un manque d'eau ou d'anaérobie en raison d'excès d'eau ; (iii) jaune : la sénescence précoce commence lorsque le taux d'épuisement tombe en dessous du seuil de stress de la sénescence. La figure 13.c montre les différents stress et leur impact en pourcentage tout au long de la période de croissance : en vert, les stress retardant le développement de la canopée ; en rouge, les stress provoquant la fermeture des stomates, et en jaune, les stress provoquant une sénescence précoce. La figure 13.d montre le développement relatif de la biomasse (vert), le développement cumulé de la biomasse (ligne bleue) et la biomasse observée (points rouges).

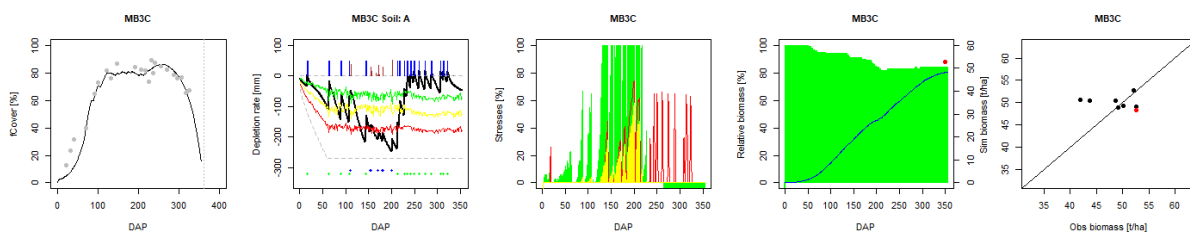


Figure 13 : Tableau de bord de l'évaluation de la simulation. Avec : (a) Développement de la couverture de la canopée observé (points gris) vs simulé (ligne noire). (b) Taux d'épuisement simulé (ligne noire bosselée) par rapport à la teneur en eau du sol à saturation et au point de flétrissement permanent (lignes pointillées grises), aux seuils d'eau pour le développement du couvert végétal (ligne verte), à la fermeture des stomates (ligne rouge) et au début de la sénescence (ligne jaune), et aux événements d'irrigation (lignes horizontales bleues). (c) Détails des impacts du stress (mêmes couleurs qu'au point (b)). (d) Biomasse relative (zone verte), biomasse cumulée (ligne bleue) et biomasse observée (point rouge).

Comme nous le verrons plus en détail dans la section consacrée aux résultats, cette approche de tableau de bord améliore et facilite considérablement les essais de calibration. En un clin d'œil, une vue d'ensemble simple est donnée des processus de simulation interconnectés. Par

exemple, une canopée mal développée (graphique a) peut être le résultat de stress hydrique ou d'un excès d'eau (graphiques b et c) entraînant une réduction de la production de biomasse (graphique d). Si l'un des graphiques ne correspond pas aux autres, cela indique qu'il faut procéder à un nouveau test des paramètres jusqu'à ce que les 4 graphiques soient alignés.

Trois grandes étapes ont été nécessaires pour la calibration. La simulation de la couverture de la canopée est une première étape cruciale. Les principaux paramètres de calibrage de la couverture de la canopée sont : la croissance de la canopée (CGC) et le coefficient de déclin de la canopée (CDC). Le *CGC* et le *CDC* ont été calibrés de manière itérative en utilisant une approche semi-automatique d'essai-erreur jusqu'à l'obtention d'une erreur minimale entre la couverture du couvert végétal détectée à distance et la couverture simulée. Les résultats ont été évalués visuellement sur la base des courbes individuelles de couverture du couvert et statistiquement sur la base de paramètres (R^2 et RMSE). Après avoir calibré la couverture de la canopée, le *WP* a été réajusté en comparant la biomasse totale sèche finale au-dessus du sol simulée et observée. Même approche que pour les paramètres liés à la couverture de la canopée. Pour la présente étude, le *HI* n'a pas été traité car le CSS ne s'intéresse qu'aux estimations de la biomasse totale, principalement pour programmer correctement les ressources (humaines) nécessaires dans les parcelles suivies. Enfin, les différents seuils de stress hydrique ont été adaptés pour affiner encore les résultats de la simulation de la canopée et de la biomasse.

II. RESULTATS

II.1. Comparaison entre les données de fCover issus des images satellitaires et simulées

Des exemples d'évolution de la couverture végétale simulée et dérivée de Sentinel-2 de parcelles de canne sont présentés dans la figure 14. Cela montre qu'AquaCrop a pu simuler avec précision l'évolution de la couverture de la canopée après l'assimilation des données de Sentinel-2. Sur un échantillon de 444 observations, le R^2 était d'environ 0,82 (Figure 15). Cela démontre l'utilité de l'assimilation des données Sentinel-2 dans AquaCrop pour le suivi du développement de la canopée de canne à sucre.

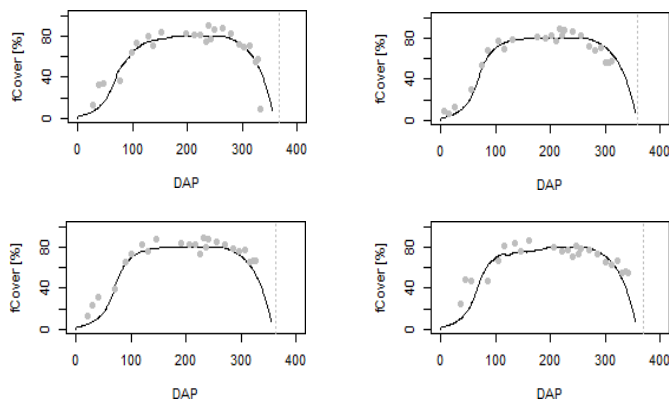


Figure 14 : Quelques exemples d'évolution simulée (ligne noire) et observée (points gris) du fCover
(Rangée du haut : A5A, MB3C ; rangée du bas : D2B, C6A)

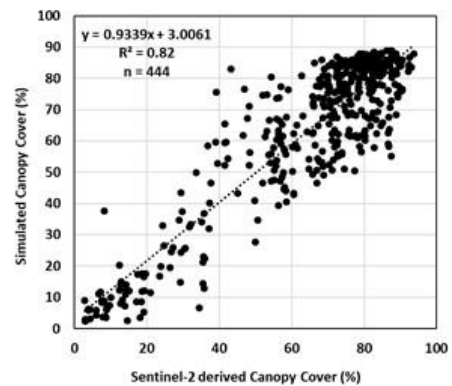


Figure 15 : fCover observée vs simulée pour l'ensemble des parcelles suivies

II.2. Comparaison entre les données de biomasse sèche simulées et observées aux champs

Normalement, une fois qu'une culture est calibrée et validée pour une région agro-climatologique spécifique, les paramètres de la culture sont censés être valables pour un large éventail de conditions locales. Dans le cas présent, après une multitude d'essais et d'erreurs, il n'a pas été possible d'obtenir un ensemble unique de paramètres de culture appropriés pour les différents types de sol de la zone d'étude (figure 16). Le meilleur que l'on ait pu obtenir était un R^2 de 0,01 et une RMSE de 16 t/ha. Cependant, la figure 16 montre que les résultats de la simulation se regroupent par type de sol. Il a donc été décidé pour la suite, de répéter l'exercice par type de sol.

La figure 17 montre que les résultats sont si représentés en nuages de sous ensemble que les paramètres de culture sont définis pour chaque type de sol. La R^2 s'élève à 0,69 et la RMSE diminue à 3,2 t/ha, bien en dessous du seuil d'erreur non officiel de 10%. Dans la partie suivante, les résultats par type de sol sont détaillés et les paramètres de culture résultants sont présentés sous forme de tableau.

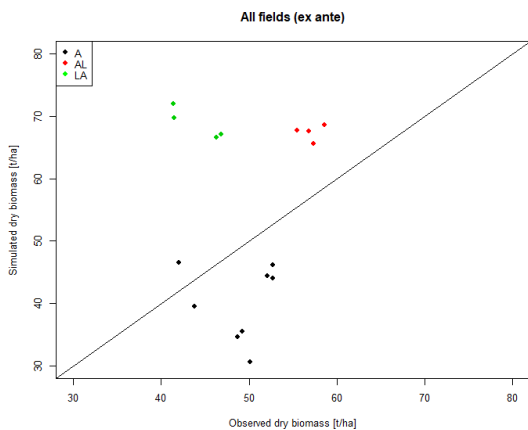


Figure 16 : Biomasse observée vs. biomasse simulée en utilisant un fichier de culture unique pour l'ensemble des types de sol : argile (noir), limoneux (vert) et argilo-limoneux (rouge).

$R^2 = 0,01$; RMSE = 16 t/ha ; nRMSE = 32%.

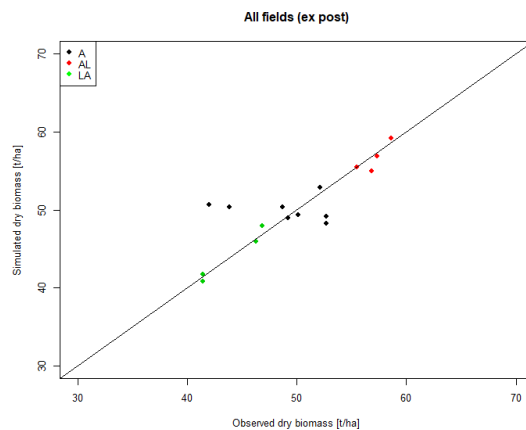


Figure 17 : Biomasse observée vs. biomasse simulée en utilisant un fichier de culture distinct pour chaque type de sol : argileux (noir), limoneux (vert) et argilo-limoneux (rouge).

$R^2 = 0,69$; RMSE = 3,2 t/ha ; nRMSE = 6,4%.

II.2.1 RESULTATS SUR SOLS ARGILEUX

La figure 18 montre quelques résultats détaillés pour des simulations de canne à sucre sur un sol argileux. La parcelle du haut (MB1C) se comporte de manière presque optimale : la production relative de biomasse est de 90%. 10 % des pertes pourraient être décrites en raison du stress de développement (lignes vertes) et de la sénescence précoce (lignes jaunes). Les taux d'épuisement sont inférieurs aux seuils de développement et de sénescence précoce (lignes vertes et jaunes du graphique 2). Les stress dans les troisièmes graphiques confirment comment ces manques d'eau ont entraîné un développement plus faible et provoqué une sénescence précoce (lignes vertes et jaunes) ; ce qui donne une biomasse relative de +/- 90% (graphique 4). Comme pour le deuxième exemple (parcelle A5B), 20% des pertes pourraient être décrites comme étant dues à une sur-irrigation provoquant un milieu anaérobie et la fermeture des stomates, visualisée sur plusieurs pics rouges dans le troisième graphique.

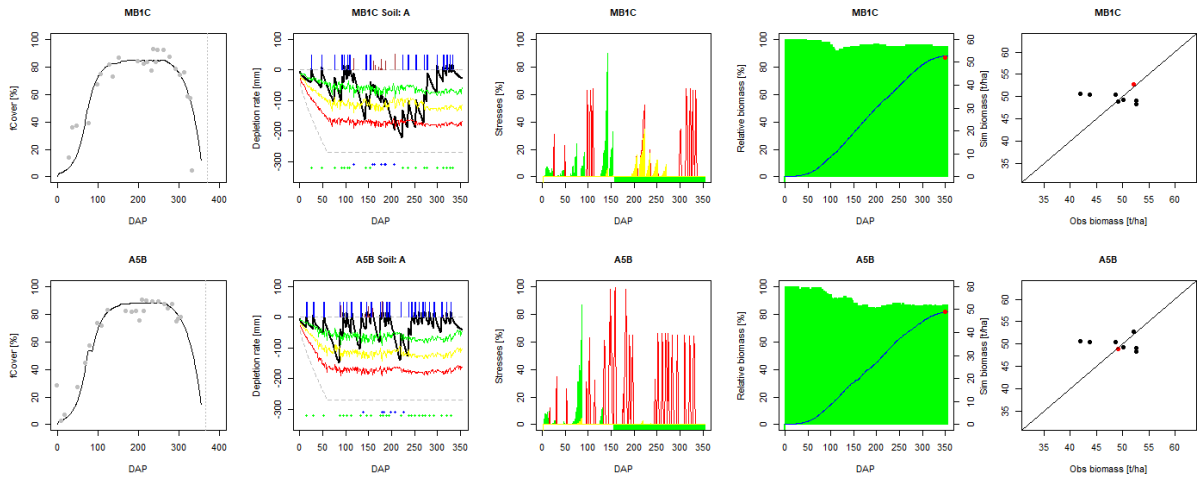


Figure 18 : Tableau de bord de quelques simulations AquaCrop pour la canne à sucre sur un sol argileux.

(En haut : champ MB1C ; en bas : champ A5B)

II.2.2 RESULTATS SUR SOLS ARGILO-LIMONEUX

La figure 19 montre le tableau de bord de résultats de simulation sur des sols limono-argileux. La parcelle du haut (B5A) est parfaitement gérée, ce qui donne une biomasse relative de 95%. La parcelle du bas (D2A) souffre à nouveau d'un certain anaérobie en raison d'une irrigation excessive. La sur-irrigation se produit principalement en mi-saison lorsque les tiges de canne se développe bien et que les irrigateurs ont du mal à maîtriser les apports. Le taux d'épuisement est bien supérieur à la capacité du champ (graphique 2), provoquant une fermeture stomatique (lignes rouges dans le graphique 3) et entraînant une légère baisse de la biomasse relative (graphique 4). 10% de la biomasse a été perdue à cause de la sur-irrigation.

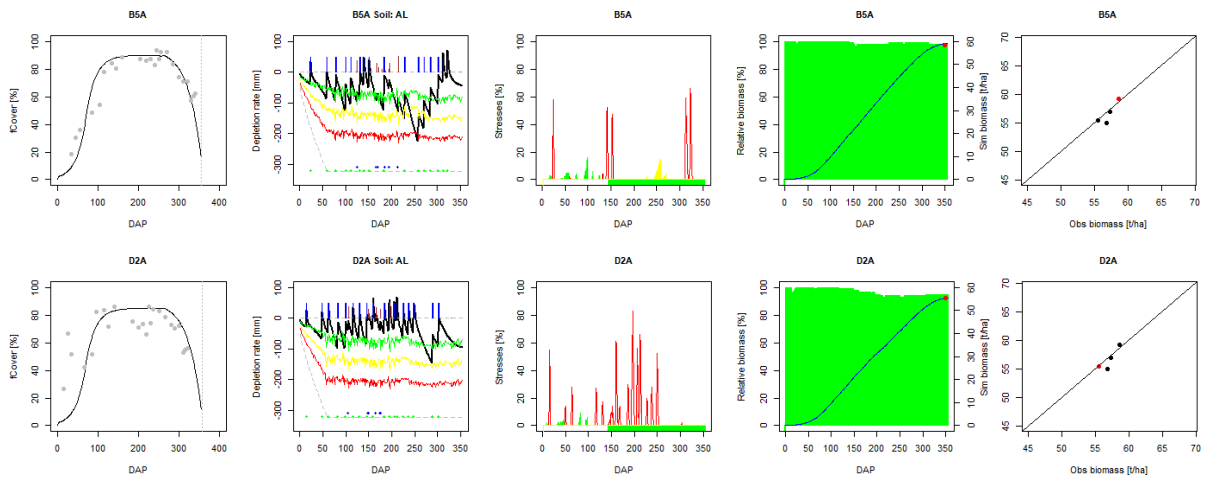


Figure 19 : Tableau de bord de quelques simulations AquaCrop pour la canne à sucre sur un sol limono-argileux.

(En haut : champ B5A ; en bas : champ D2A)

II.2.3 RESULTATS SUR SOLS LIMONEUX

La figure 20 montre les résultats détaillés de la simulation de la canne à sucre sur des sols limoneux. La parcelle C6A (en haut) souffre de stress hydrique (lignes vertes) en raison d'une fréquence d'irrigation plus faible au cours des 3 premiers mois, et d'une situation anaérobie et donc d'asphyxie racinaire et de fermeture stomatique (lignes rouges) en raison d'une sur-irrigation au cours des derniers mois. La biomasse a chuté d'environ 15%. La parcelle F5A (en bas) souffre d'une sur-irrigation sévère et presque continue, ce qui a entraîné une perte de rendement de 20 %.

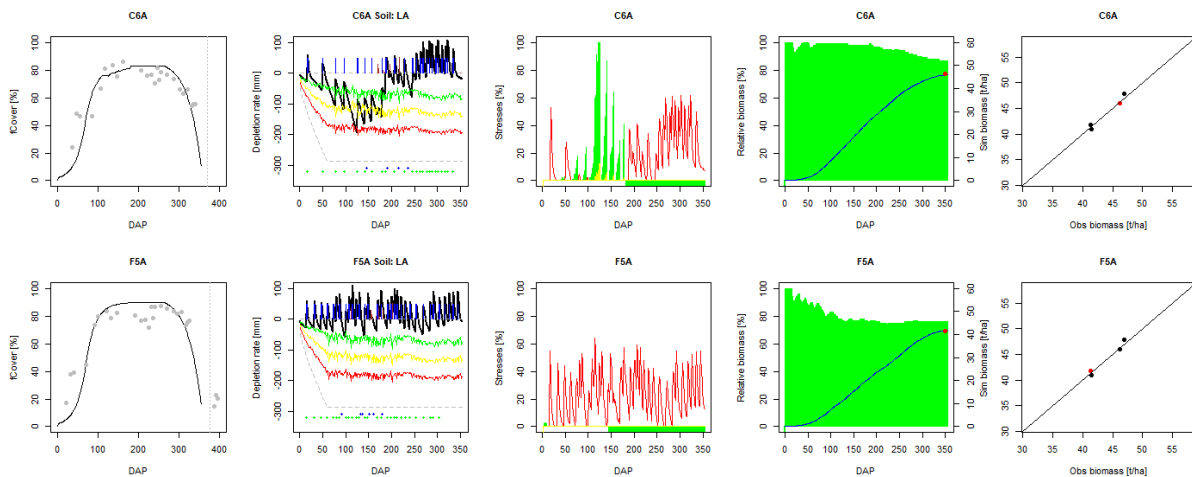


Figure 20 : Tableau de bord de quelques simulations AquaCrop pour la canne à sucre sur un sol limoneux.

(En haut : champ C6A ; en bas : champ F5A)

II.2.4 PARAMETRES DE LA CULTURE

Les caractéristiques culturales conservatoires pour la canne à sucre sont détaillées dans le tableau 28. La période de reprise d'une parcelle après la plantation ou la récolte varie normalement d'une à plusieurs semaines. En raison de la procédure d'assimilation, les simulations ont commencé à la levée et, par conséquent, ces intervalles de reprise variables n'ont plus été prise en compte. D'où le 1 "jour pour redémarrer" dans le tableau.

Tableau 28 : Caractéristiques de la culture de la canne à sucre sur AquaCrop à la CSS

Initial canopy cover	1,30	Maximum rooting depth	1,8
Canopy size seedling	10,00	Days to maximum rooting	90
Plant density	200.000	Effect of canopy shelter	60
Days to recovered	1	Crop transpiration	1,1
Days to max canopy	140	Ageing	0,150
Days to senescence	263	Water extraction pattern 1/4	40
Days to maturity	354	Water extraction pattern 2/4	30
CGC	4,5	Water extraction pattern 3/4	20
Maximum canopy cover	80	Water extraction pattern 4/4	10
CDC	3,0		
	Clay	Silty clay	Clay loam
Crop water productivity	21	22	20
Responses to stresses:			
Canopy expansion		moderately tolerant	
p (upper)		0,25	
p (lower)		0,60	
Shape factor		3,0	
Stomatal closure		moderately tolerant	
p (upper)		0,65	
Shape factor		3,0	
Early canopy senescence		sensitive	
p (upper)		0,45	
Shape factor		3,0	
Aeration stress	very tolerant	moderately tolerant	very sensitive
Saturation	1	4	13

Bien que la plupart des paramètres de culture soient valables pour les différents types de sol étudiés, des différences très significatives sont constatées pour les paramètres de productivité hydrique (WP) et de stress d'aération (anaérobie) des cultures. Selon la littérature, la productivité hydrique des cultures devrait se situer entre 30 et 35 g/m² pour les cultures C4 (ce qui est le cas de la canne à sucre). Cependant, dans ces essais menés, les productivités de l'eau obtenues sont plus faibles : 21 g/m² pour les sols argileux, 22 g/m² pour les sols argilo-limoneux et argileux, et 20 g/m² pour les sols limoneux. On suppose que la salinité résiduelle des sols, discutée plus haut (chapitre 6), est à la base de ce comportement extrême. Au niveau de ces parcelles encore pourvues de poches de salinité, l'eau devient moins facilement extractible par les racines. Par conséquent, l'eau disponible est moins productive dans la conversion de la

transpiration en biomasse. Les résultats obtenus indiquent en outre que cette incidence de la salinité des sols sur le rendement se présente différemment selon le type de sol : les sols limoneux semblent beaucoup plus sujets à des problèmes de salinité affectant la canne que les sols argileux et argilo-limoneux. Il convient de noter que la qualité de l'eau peut être prise en compte par AquaCrop, mais les interactions entre la salinité et le type de sol sur la qualité de l'eau et le rendement restent à étudier.

Des réflexions similaires peuvent être faites sur les différentes réponses des cultures au phénomène de stress par anaérobie par type de sol. Les résultats indiquent que la canne à sucre est plus tolérante à ce stress sur les sols argileux que sur les sols argileux limoneux. Dès que le sol est principalement limoneux, il est facilement déstructuré (formation de croûtes) et facilite donc moins le transfert de l'eau stockée vers les racines. Cependant, les sols argileux sont connus pour leur capacité supérieure de rétention d'eau, et donc plus enclin au stockage de l'eau. Là encore, l'interaction entre la salinité et le type de sol peut nécessiter des examens et des simulations supplémentaires sur des ensembles de données plus importants.

III. CALENDRIERS D'IRRIGATION OPTIMAUX ET AMELIORES

III.1. Calendrier actuel

Le suivi des essais de terrain a démontré que chaque irrigation dure environ 48 heures et porte sur une dose de 100 mm durant 24 heures. Il s'agit de la dose brute d'irrigation c'est-à-dire celle totalement allouée à l'entrée de la parcelle et à la sortie des siphons. Pour cette campagne suivie, 32 irrigations d'une durée moyenne de 48 heures apportant environ 200 mm ont été noté. Soit une dose brute totale de 6.400 mm.

Les efficacités d'application à la parcelle proposées par Boss et Nugteren (1974) ont été retenues ici pour déterminer la dose nette en irrigation. Pour une efficacité d'application à la parcelle de 50% (ce qui est courant sur une irrigation de surface manuelle), on obtiendra des doses nettes d'irrigation de 100 mm/48 heures, soit 2 doses successives de 50 mm/24 heures. Soit 3.200 mm cumulée pour toute la campagne. Ce sont ces doses qui ont servi comme donnée d'entrée dans AquaCrop. AquaCrop exige les montants nets en irrigation.

La simulation sur les calendriers d'irrigation a été faite sur la parcelle de F5A, observée comme une parcelle très mal suivie avec une sui-irrigation continue et sévère ayant entraîné une forte baisse du rendement potentiel à cause donc d'un calendrier inadapté.

La Figure 21 montre les résultats simulés par AquaCrop pour la parcelle suivi F5A. On constate environ 13% de pertes à cause de la sur-irrigation provoquant de l'anoxie et la fermeture des stomates.

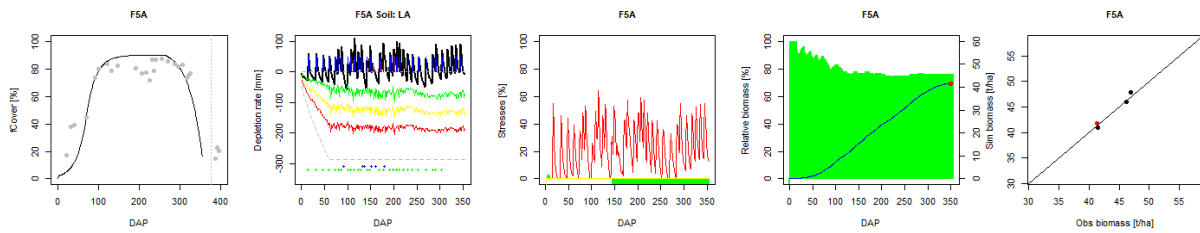


Figure 21 : Tableau de bord de quelques simulations sous AquaCrop utilisant le calendrier d'irrigation réel sur F5A

Résultats simulés :	Stress de développement de canopée :	12%
	Stress de fermeture des stomates :	13%
	Ratio de production de biomasse (réelle/optimale) :	87%
	Biomasse sèche produite :	45,9 tonnes/ha

III.2. Calendrier amélioré

Après calibration, le calendrier d'irrigation ci-dessous a pu être élaboré pour F5A (Figure 22). Vu le Ksat de 80 mm/jour, des doses nettes de 80 mm ont été considérées. Comme le tableau le montre, les intervalles d'irrigation varient entre 21 jours et 14 jours. Chaque irrigation dure seulement 24 heures (au lieu de 48 heures auparavant). Il faudra impérativement augmenter le débit des siphons pour y arriver (augmentation de la charge hydraulique ou des diamètres des siphons utilisés).

Pour ce nouveau calendrier on note :	Dose nette :	80	mm
	Durée :	24	heures
	Nombre d'irrigation :	18	
	Irrigation nette totale :	1.440	mm
	Irrigation brute totale :	2.160	mm

Le tableau de bord des simulations (Figure 23) montre beaucoup moins de stress et une production optimale de biomasse de 52.7 tonnes/ha.

Figure 22 : Calendrier d'irrigation proposé pour la canne à sucre sur sol argileux en irrigation de surface

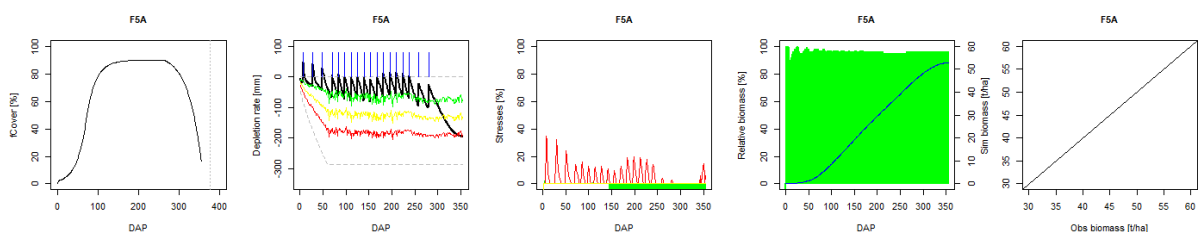


Figure 23 : Tableau de bord de simulations d'AquaCrop utilisant le calendrier d'irrigation optimisé

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus à travers cette étude montrent la pertinence des ensembles de données Sentinel-2 pour le suivi de la culture de la canne à sucre au Sénégal (Richard Toll, Saint-Louis). Les données dérivées de Sentinel-2 (fCover) ont montré une bonne capacité à surveiller spatialement et temporellement les conditions de croissance de cette culture. Une très bonne corrélation a été constatée entre les observations de terrain et la couverture du couvert végétal dérivée de Sentinel-2, même si cette dernière surestime les valeurs au début de la période de croissance. AquaCrop a été calibré en utilisant les observations de terrain collectées pendant une campagne de douze mois qui correspond au cycle de vie moyen des parcelles de canne à sucre. Les résultats ont montré un assez bon comportement du modèle AquaCrop dans la simulation des variables de couverture de la canopée et de biomasse. Toutefois, les simulations pourraient être encore améliorées en tenant compte d'informations plus spécifiques telles que les données météorologiques à l'intérieur du champ, les pratiques de gestion de la parcelle (par exemple, la fertilisation, la gestion des mauvaises herbes, ...), l'état de la nappe phréatique et les interactions salinité-type de sol sur l'eau disponible.

Cet exemple montre également le potentiel d'AquaCrop pour créer ou corriger des calendriers d'irrigation plus efficaces pour la culture de la canne à sucre. Par contre, la présente analyse n'a pas pris en compte les besoins en eau de lessivage pour ces sols salés.

Les teneurs en sel du sol n'ont également pas pu être prises en compte. Les teneurs en eau moyenne par parcelle observées étaient trop basses pour simuler leurs impacts. Il s'agit en réalité des poches de sels dans les parcelles. Des analyses d'images satellites pourraient éventuellement aider à identifier ces poches car ce sel diminue le développement de la canopée. Donc une prochaine étude couplant les résultats des images satellites avec une simulation sur AquaCrop pourrait aider à trouver une solution optimale sur de meilleures pratiques d'irrigation à la parcelle salée.

Des mesures de conductivité hydraulique saturée seront conseillées afin de pouvoir mieux connaître ce Ksat. Dans la modélisation un Ksat de 80 mm/J a été retenu pour le moment mais il paraît faible d'après les observations de terrain lors des irrigations.

Les calendriers d'irrigation corrigés sur la canne et qui induisent des volumes bruts d'irrigation moindres que ceux en vigueur actuellement sont un vrai plus par rapport à nos objectifs d'arriver à des irrigations efficaces, plus économes et moins polluantes. Les irrigations excessives, au-delà des conséquences environnementales et économiques sur la gestion de l'eau, constituent sur ces types de sols argileux une des causes de faible rendement par rapport au potentiel à cause des phénomènes d'anaérobie et d'anoxie qu'elles provoquent. Ces résultats vont aussi dans le sens des recommandations issues des constats empiriques dans le périmètre et qui concourent à l'augmentation des rendements de la canne (Figure 30). Nous proposons donc de continuer cette étude sur la calibration et validation des autres cultures majeures dans le Delta (riz, oignon, tomate, pomme de terre) sur AquaCrop afin de dégager des calendriers d'irrigation optimaux pour ces spéculations. Ces résultats attendus pourraient participer ainsi globalement à une gestion raisonnée de l'eau d'irrigation, point majeur de la GIRE proposée.

CHAPITRE 8 :

Une approche innovante pour asseoir une gestion durable des aménagements hydro-agricoles dans le Delta : le Nexus Eau-Aliment-Energie

Les deux chapitres suivants (8 et 9) ont inspiré la réalisation de 3 publications comme premier auteur :

- ✓ Chapitre de livre : (Sall M T et al): *Using irrigated sugarcane for energy production in an agro-industrial system from the book : Water resources Management in the climate context of changing in Africa. Springer Edition. 2020.*
- ✓ Article : (Sall M T et al): *Towards integrated water resources management at the Senegalese sugar company (CSS). Current results and prospects for a Nexus Water/Food/Energy. ISSCT. Septembre 2019, Tucuman, Argentine*
- ✓ Article : (Sall M T et al) : *L'agrobusiness, un rôle moteur en gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) et en Nexus eau-énergie-alimentation ? Cas de Compagnie Sucrière Sénégalaise, Geo-Eco-Trop. 2019, 43, n.s : 445-452.*

Les changements climatiques ont un impact clair sur la pluviométrie dans le Sahel marquée par une baisse historique prononcée de 15 à 25 % de 1968 à 1995 (Hulme, 2001) et une instabilité chronique ces 23 dernières années. Si ce phénomène est conjugué avec une hausse des températures (de plus de 1° degré sur les 50 dernières années), nous assisterons inéluctablement au déclin de l'agriculture pluviale, à un déficit vivrier croissant et à des insécurités alimentaires et énergétiques dangereuses.

Des pressions multiples vont alors s'exercer sur les ressources naturelles dont principalement l'eau douce et les sols cultivables car l'agriculture irriguée sera l'une des rares options possibles pour corriger cette situation et inverser la tendance.

Cette pression concerne aussi les ressources forestières, en grande partie pour satisfaire les besoins en bois de service et en énergie (90 % des besoins énergétiques des ménages) des populations urbaines et rurales, et les politiques étatiques favorables à la colonisation agricole ont réduit le potentiel ligneux de 9,2 % entre 1985 et 1995 (Faye et al, 2007).

Le bois de chauffe constitue le bois-énergie le plus utilisé en zone rurale et représente entre 50 et 60% de l'exploitation nationale de combustible ligneux. Une bonne part de ce bois est sujette à l'autoconsommation. On estime que la quantité de bois de chauffe mise sur le marché ne porte que sur 20% de la production de bois alors qu'en 60 ans leur volume a été multiplié par 54 (Figure 24).

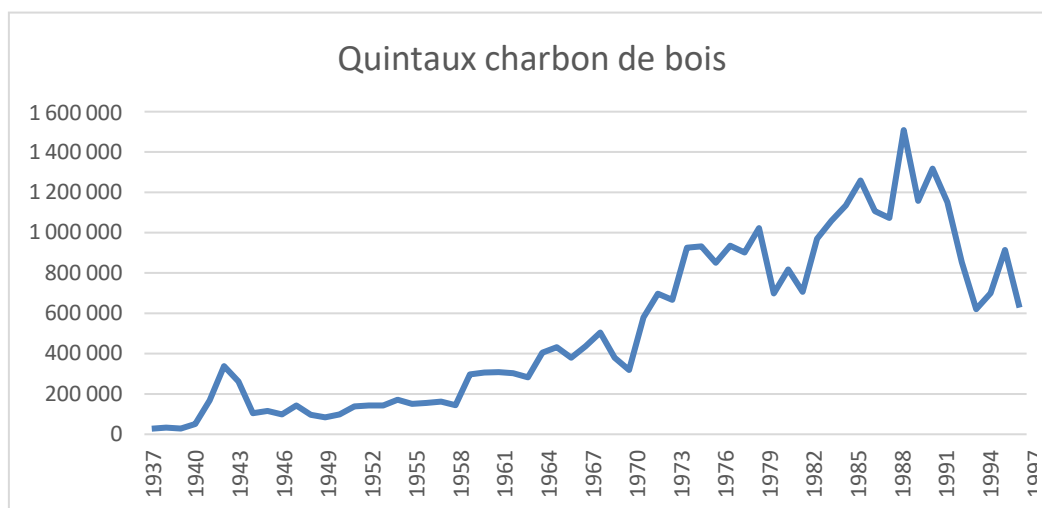


Figure 24 : Production contrôlée de charbon de bois de 1937 à 1997

(Sources : Rapports annuels Direction des Eaux, Forêts, Chasse et de la Conservation des Sols (DEFCCS))

La BAD, dans son dernier rapport pour l'Afrique, reconnaît que l'accès à l'énergie à moindre coût est un facteur clé de développement de l'agro-industrie et l'industrialisation en général. Elle compte contribuer à l'accès universel de la population sénégalaise à l'électricité à l'horizon 2025, avec une capacité de production projetée à 2000 MW en 2020. La part des énergies renouvelables dans le mix énergétique passera de 7% en 2015 à 20% en 2018 et 25% en 2020. Nous ne pourrions y arriver sans y associer les énergies solaire et issue de la biomasse. Le tableau 29 de la FAO recense l'ensemble des contraintes et dégradations observées dans le Delta et trop souvent en lien avec l'exploitation irrationnelle des acteurs.

Tableau 29 : Dégradations environnementales et causes identifiées dans le Delta
(Source : FAO/CSE, 2003)

ZONES ECO-GEOGRAPHIQUES	PRINCIPAUX PROBLEMES DE DEGRADATION	CAUSES IDENTIFIEES
VALLEE DU FLEUVE SENEGAL	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution provenant des rejets industriels et des aménagements hydro-agricoles ; - Erosion Eolienne. - Salinisation et alcanisation - Réduction et Elimination du couvert végétal ; - Dégradation des formations forestières et des forêts de Gonakier, caractéristiques de la zone sont en voie de disparition. Cette dégradation des habitats de la faune a eu comme conséquence la disparition de certaines espèces animales. On note également une non intégration de l'arbre dans les périmètres irrigués. 	<ul style="list-style-type: none"> - La pluviométrie a fortement baissé et les eaux de surface de la vallée en sont affectées. - Les coupes pour le charbon de bois, les feux de brousse et l'extension des cultures ont contribué à la dégradation des sols, - Mauvais drainage et manque de maîtrise de l'eau à travers les aménagements hydro- agricoles, - Exploitation abusive du bois de chauffe, défrichement à des fins agricoles

Les pollutions diverses observées constituent la base des dégradations constatées dans le Delta (Diop, 2017). Pourtant, la lutte contre les pollutions agricoles est très coûteuse : pour une zone agricole de 530 000 ha en Région Adour-Garonne (en France), le projet de lutte contre les pollutions agricoles entre 2013-2018 a été chiffré à 77,4 Milliards de FCFA. La zone sahélienne du Delta ne dispose pas de ces moyens. Il faut donc trouver d'autres solutions.

Globalement, les modèles de production et d'entrepreneuriat agricoles irrigués promus et proposés ces dernières années dans le Delta du fleuve Sénégal ont montré des limites perceptibles sur plusieurs points :

- Le paysage agro-environnemental de la zone marqué par des aménagements hydro-agricoles soit à l'abandon, soit faiblement efficaces et rentables soit sources de pollutions diffuses.
- Une tension exacerbée entre acteurs autour des ressources naturelles surtout l'eau et les sols avec comme corollaire un impact négatif sur leur qualité et leur disponibilité.
- Un déficit vivrier et une insécurité alimentaire qui menace l'équilibre social des ménages ruraux et accentue leur pauvreté.
- Un développement très différencié et dangereux des modèles agro-économiques en présence d'un boom rapide des entreprises agricoles ou agro-industrielles modernes face au déclin ou à la précarité des exploitations familiales rurales.

Face à ce constat inquiétant, il faut repenser les modèles de production agricole et tendre vers une approche intégrée et durable. A ce niveau, l'adoption d'un dispositif de suivi performant et fiable doit être systématisée. Un tel dispositif devrait se baser sur des indicateurs divers : choisis selon l'approche : indicateurs d'état, indicateurs de pression, indicateurs d'impact et indicateurs de réponse. Ces indicateurs devront être mesurés à différentes échelles et à des périodicités permettant de mettre en valeur leur pertinence avec la détection des changements d'états des attributs ciblés :

- Les indicateurs d'état permettent d'évaluer la productivité, la condition et dans le long terme les tendances des ressources des écosystèmes ; ils s'appliquent sur la végétation naturelle, les pâturages, les cultures, les sols et les ressources en eau ;
- Les indicateurs de pression donnent des informations sur les facteurs susceptibles selon leur importance d'affecter négativement ou positivement la qualité et la condition des ressources ; ils sont en quelque sorte les causes indirectes de cette dégradation. Exemples : Volume de bois vendus ou de charbon produits/an, pourcentage de surface enherbée sur de l'eau des plans d'eau, etc...
- Les indicateurs d'impacts mesurent les effets extériorisés de cette dégradation sur les acteurs et sur l'économie de la zone : insécurité alimentaire, taux de prévalence des maladies hydriques, taux de pauvreté, chômage ;
- Les indicateurs de réponses mesurent et permettent d'évaluer les actions prises par les décideurs pour le contrôle de la dégradation des ressources naturelles.

Depuis le sommet de Bonn en 2011, le concept de Nexus Eau-Aliment-Energie est mis en avant et fait l'objet de nombreuses études afin de le comprendre et d'en faire la promotion surtout dans les Nations du Sud. Ce chapitre se propose de l'étudier et de le formaliser à travers un exemple accompli de sa mise en œuvre dans la zone du Delta et dans un contexte où une

approche de Gestion Intégrée de Ressources en Eau est souhaitée par de multiples acteurs (publics et privés) autour des principales ressources naturelles à valoriser (sols et eaux).

Il est maintenant établi que la demande en eau, en énergie et en aliments va augmenter de 30 à 50% dans les 20 prochaines années et les risques de pénurie pourraient causer des instabilités sociales et politiques, des conflits géopolitiques et des dommages environnementaux irréversibles (IISD, 2013). La zone du Delta du Fleuve Sénégal, comme toute la bande sahélo-saharienne est marquée par un déficit vivrier et énergétique récurrent. Cette situation, exacerbée par les impacts négatifs des changements climatiques, est structurellement due à plusieurs facteurs :

- Une faiblesse des rendements agricoles des céréales associées à des pertes post récolte et aviaires importantes.
- Une disponibilité parfois faible liée à un accès difficile à la ressource eau à cause des barrages naturels que constitue les végétaux aquatiques ou les grands aménagements.
- Un contexte pédologique contraignant, marqué par les deux principaux types de sols (sableux et argileux salé) qui nécessitent des aménagements coûteux pour être exploitables.
- Une croissance continue et importante de la population surtout urbaine dont les besoins alimentaire et énergétique augmentent sans cesse.
- Une faiblesse structurelle des filières agricoles locales marquées par des coûts de production trop élevés, une faible protection et des prix volatiles.
- Une dépendance continue au réseau électrique national déficitaire qui ne parvient pas à jouer partout son rôle de service public.

L'une des causes décelées de la faible productivité de l'agriculture irriguée dans le Delta est l'approche en termes de politique de développement agricole trop marquée par une segmentation des pratiques et la recherche de spécialisation dans chaque voie de production pour un pays disposant de ressources insuffisantes. Les incohérences dans nos politiques qui limitent les champs d'action ou de production et restreint l'intégration sont donc des facteurs d'échecs.

Depuis 2011, une nouvelle voie est promue et qui perçoit la production agricole comme un modèle multidimensionnel où plusieurs variables peuvent être combinées et donner plusieurs produits pour de multiples usages. Entre 2011 et 2012, 13 rencontres scientifiques de haut niveau dans le monde ont discuté et travaillé sur l'approche Nexus dans des contextes et situations différentes (IISD, 2013). Plusieurs organismes scientifiques mondiaux ont mené ou mènent des études dans ce sens (IISD, IFPRI, SIWI, Nations Unies, Banque Mondiale, US Department of Energy, OCDE, WEF...). L'approche conceptuelle qui ne sera pas développée ici fait l'objet d'un diagnostic permanent et le concept de « *green economy* » sert maintenant de porte d'entrée à plusieurs projets de développement intégré en Occident (IISD, 2013).

Selon Burnett (2018) il y a trois (3) types de liens entre les différents composants du Nexus :

- Relations de dépendance et d'interconnexion en termes de inputs/outputs (comme l'eau utilisée pour produire des aliments ou de l'énergie et les aliments utilisés pour produire de l'énergie, ou bien aussi l'énergie utilisée pour produire de l'eau ou des aliments) et qui semble à première vue la relation la plus évidente.

- Relations de compétitions dans certains cas où l'utilisation de la même source d'eau pour faire des productions végétales et donc des aliments peut entrer en concurrence avec l'utilisation de l'eau pour produire des énergies (biocarburants ou énergie hydro-électrique). Dans ce cas les gains induits ne doivent pas seulement se mesurer en terme financiers mais aussi en terme social et environnemental. Mieux encore l'approche Nexus prône une valorisation optimale qui ne cherchera pas à exclure une production par rapport à une autre mais surtout à les rendre complémentaires.
- Relations d'externalités (négative ou positive) et qui fait donc référence aux potentielles incidences ou conséquences de l'utilisation ou de la réalisation d'un composant sur la qualité et le devenir d'un autre composant (externalité négative sur l'eau à la suite de la production agricole irriguée voisine, incidence négative de sous-produits de la fabrication énergétique ou alimentaire avec de l'eau sensée être utilisée à d'autres fins). Dans ce cas l'accent est naturellement mis sur les externalités négatives afin de les éliminer.

L'approche Nexus mise en œuvre dans quelque cadre que ce soit (spatial ou temporel) doit avoir en ligne de mire ces 3 types de relations et s'appliquer à éliminer ou réduire au maximum les relations négatives ou régressives.

Le Nexus Eau-Aliment-Energie en Afrique est une approche qui devrait sembler naturelle : c'est ainsi qu'ont vécu pendant des millénaires nos ancêtres à travers l'utilisation à usages multiples et raisonnés des fruits de la chasse et de la cueillette pour manger, boire, cuire des aliments, s'habiller, se chauffer et s'abriter. Ce modèle s'est perdu au fil des temps avec une « modernisation » et une spécialisation outrancière de la production agricole héritée de la colonisation et de la révolution agraire en Occident.

Ce modèle productiviste qui a réussi en Occident (pour l'instant, bien que souvent remis en cause dans bien des cas) n'a jamais pu s'exporter et permettre une révolution agraire dans la zone sahélienne pour plusieurs raisons malgré tous les efforts consentis de part et d'autre pour y arriver. Nous n'allons pas y revenir dans ce chapitre car cette question a été largement traitée sous plusieurs angles dans plusieurs ouvrages dont celui de Mazoyer et Roudard (Histoires des agricultures du monde), Dumont (L'Afrique noire est mal partie) et enfin Stiglitz (La grande désillusion).

Les changements climatiques implacables vont forcément aggraver ces situations si des modes d'atténuation ne sont pas trouvés. L'approche Nexus pourrait être à cet égard, une façon d'appréhender de manière « nouvelle » la production agricole dans le Delta.

La question qui se pose avec acuité est alors : Comment, dans la zone du delta du fleuve, Nexus eau aliment énergie peut-il avoir un impact en termes de GIRE sur les différents acteurs ?

Un exemple, certes particulier mais parlant est la production agro-industrielle intégrée dans la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS). Cet exemple sera détaillé ci-dessous. Il a vocation à aider à comprendre les enjeux de cette approche Nexus et d'identifier les axes de recherche qui s'offrent à nous pour favoriser l'émergence de cette approche dans nos modèles de production agricole du Delta.

I. ETUDE DE CAS : LE MODELE DE PRODUCTION INTEGREE DE LA CSS

A la CSS, une approche Nexus Eau/Aliment/Energie est déjà bien intégrée dans le processus de production agro-industriel. La CSS est une exploitation agricole de canne à sucre entièrement irriguée sur 11 300 ha (Photo. 19). La production agricole est totalement en régie avec une forte mécanisation, une intensification liée à un package agronomique complet et une planification rigoureuse liée à l'approche en chaîne de production. L'irrigation y est obligatoire et fondamentale du fait des forts besoins en eau (16 000 m³/ha/an nets) liés au climat (évaporation moyenne annuelle de 2000 mm) et au type de culture annuelle (11 à 14 mois). La production annuelle avoisine 1 400 000 tonnes de canne pour des rendements moyens bruts de 137 TC/ha en 2019.



Photo 19 : Vue d'ensemble d'un champ de canne, d'un canal d'irrigation et de l'usine avec un tas de bagasse et la chaudière

I.1 Volet Aliments et Energie du Nexus à la CSS

Le processus industriel détaillé dans le schéma ci-dessous (Figure 25) est de type standard dans l'industrie sucrière moderne. Il permet d'obtenir plusieurs produits et sous-produits.

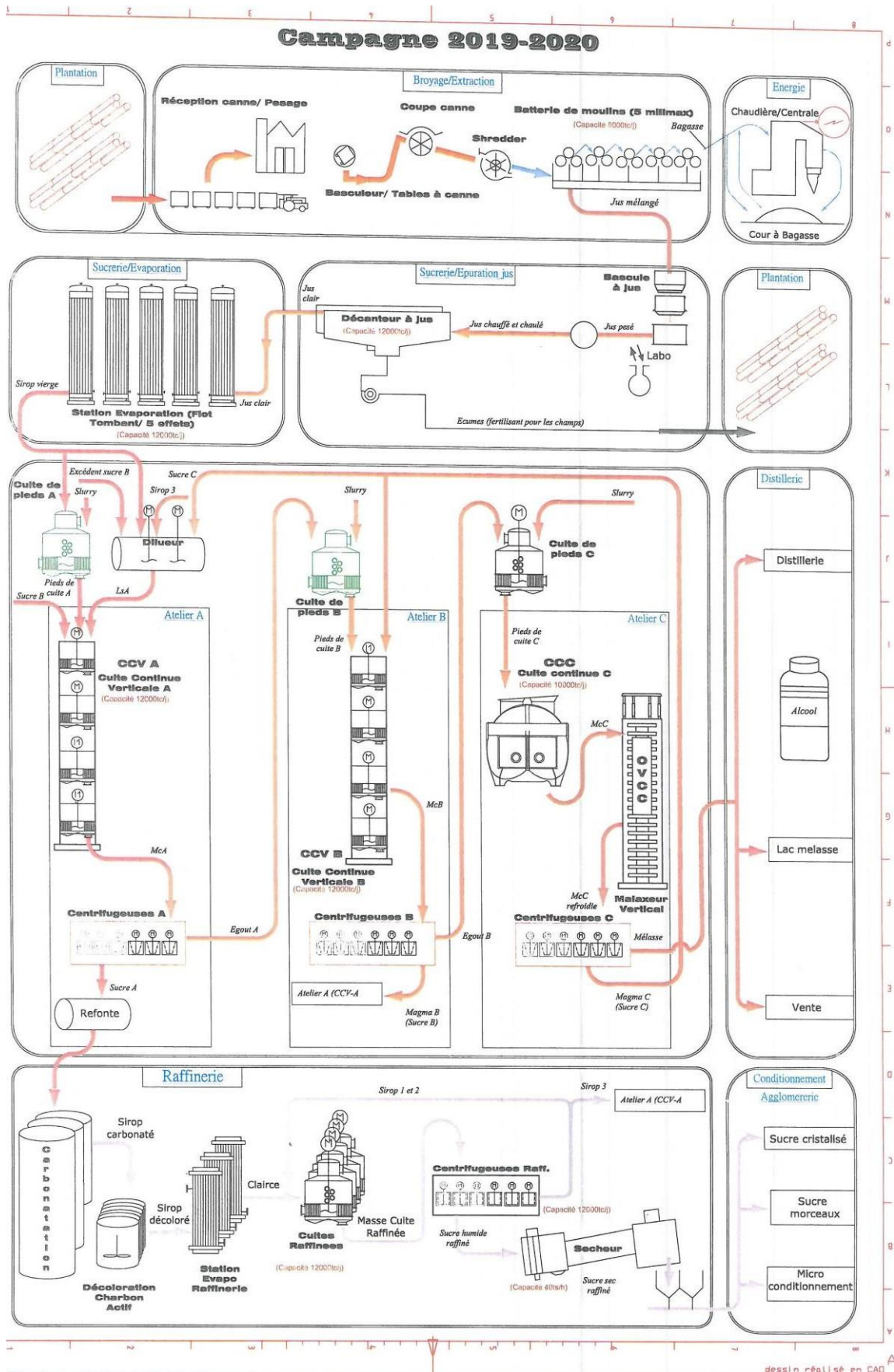


Figure 25 : Processus industriel de transformation de la canne à sucre à la CSS en 2019

L'une des approches novatrices dans ce système est l'importance quasi équivalente accordée aux sous-produits (bagasse, écumes, vinasses, cendres) qu'aux produits (sucre, alcool, électricité). Tous les sous-produits (tableau 30) ont une utilisation reconnue dans le cadre d'un Nexus (eaux potable, vapeur alimentaire, énergétique, fertilisant, adjuvant chimique). Il est à signaler que les résidus de canne laissés au champ (parties vertes ou bouts blancs) sont réutilisés par les sociétés de productions laitières ou les éleveurs directement comme aliments de bétail.

Tableau 30 : Produits et sous-produits de la canne à sucre à la CSS (Produits directs en gras et sous-produits en italique)

Produits & sous-produits	Utilisation	Production/an
Sucre	Alimentaire	145 000 t
Bagasse	Energétique	420 000 t
Mélasses	Alimentaire & matière première	53 000 t
Bout blanc et résidus canne	Aliment bétail	33 000 t
<i>Alcool pur</i>	Adjuvant, alimentaire & pharmaceutique	10 700 000 l
<i>Huile de fusel</i>	Adjuvant chimique	46 000 l
<i>Vinasse</i>	Fertilisation organique	130 000 m ³
<i>Vapeur</i>	Energétique	840 000 t
<i>Electricité</i>	Energétique	100 GWh
<i>Ecumes & boues</i>	Fertilisation organique	27 700 t
<i>Cendres</i>	Fertilisation organique	20 000 t
<i>CO2</i>	Adjuvant chimique	1 912 t

La bagasse est un produit de la canne à sucre obtenu après le broyage des tiges de canne, première étape du processus de transformation industrielle. Elle se compose de 45 à 50% de fibre et 46 à 51% d'eau. Elle a un excellent pouvoir calorifique et rendement énergétique d'environ 1,850 Kcal/kg. Le rendement industriel au broyage de la bagasse par rapport à la canne à sucre brut est d'environ 30% ce qui offre un potentiel exploitable à la CSS de 420 000 tonnes/an. Cette bagasse est utilisée pour la production de vapeur et d'électricité avec comme résidus final les cendres (Figure 26).

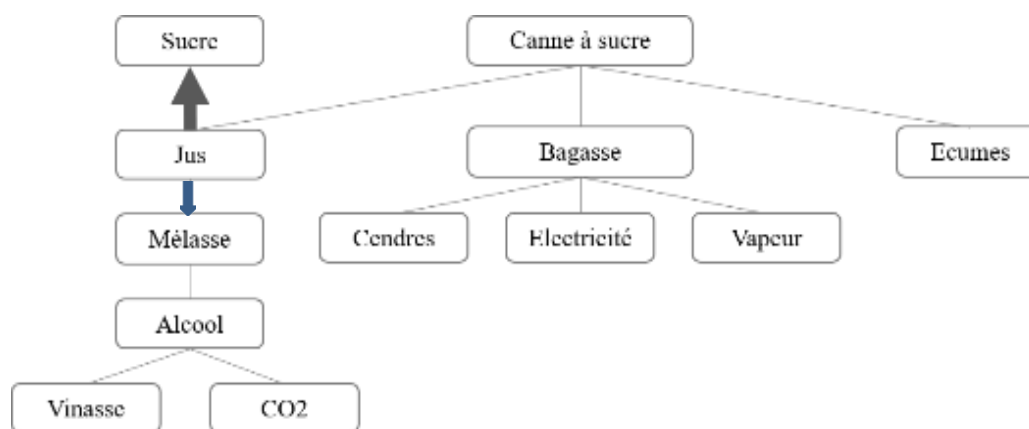


Figure 26 : Schéma simplifié des productions industrielles à partir de la canne à sucre (CSS)

La bagasse est envoyée à la chaufferie pour servir de combustible. La chaufferie est l'unité industrielle de la CSS ayant pour rôle de fournir avec un débit de 120 à 150 t/h, de la vapeur

d'eau à la température de 400 °C, sous une pression de 40 bars, nécessaire au fonctionnement des autres unités (raffinerie, agglomération, centrale...). Elle est principalement composée :

- De quatre chaudières mixtes qui peuvent fonctionner avec de la bagasse ou du fuel. Leur capacité de production est égale à 30 tonnes de vapeur par heure ;
- D'une nouvelle chaudière à bagasse IJT. A elle seule, cette chaudière peut satisfaire toute la demande en vapeur dans l'usine. Elle a une capacité de 150 tonnes vapeur par heure (Figure 27).

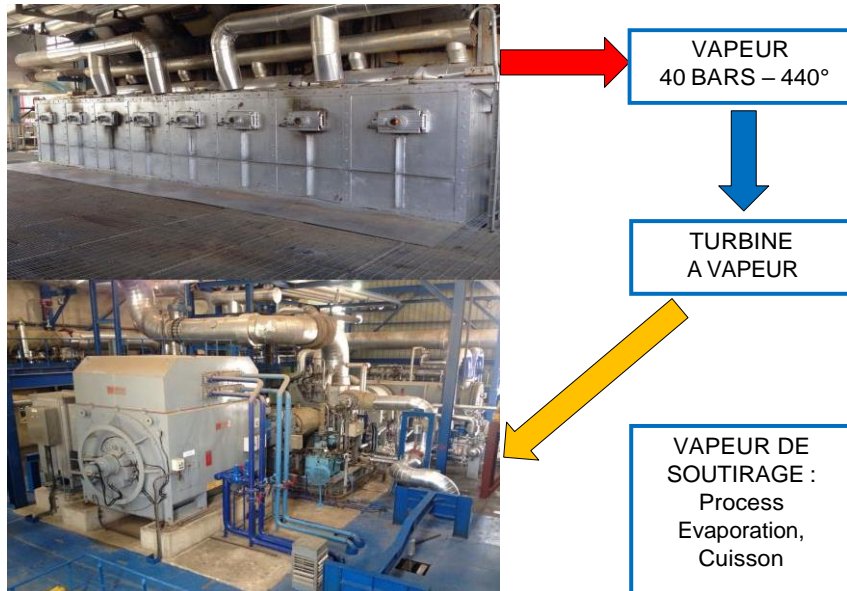


Figure 27 : Vue de la nouvelle chaudière et de la turbine pour la combustion la bagasse et l'utilisation de la vapeur produite

La CSS dispose ainsi de deux centrales électriques : une ancienne centrale d'une capacité de 22 MW, utilisée aujourd'hui par un seul turbo-alternateur de 9.5 MW. Une nouvelle centrale thermique d'une capacité de 25 MW. Elle a été construite dans le cadre du projet KT150 (150 000 Tonnes de sucre), d'où son nom de centrale KT150. Elle peut satisfaire à elle seule à la demande en énergie de la CSS. En cas de non disponibilité des centrales, la CSS dispose de plus de 10 groupes électrogènes (entre 2.275 kVA et 250 kVA). La nouvelle centrale est dite de cogénération donc pouvant fonctionner alternativement avec du fuel ou de la bagasse. Les 420 000 tonnes de bagasse ainsi produites pourraient donner une production annuelle de 100 GWh si elles sont toutes utilisées. Cela correspondrait à environ 61 000 tonnes/an de fuel donc à une forte économie d'énergie fossile (Sall et al, 2019). Une seule partie de ce potentiel est exploitée pour satisfaire aux besoins de l'entreprise. Le reste est utilisé comme substrat de compostage.

La production électrique est répartie entre les différentes unités de l'exploitation agroindustrielle selon le Tableau 31.

Tableau 31 : Valeurs et pourcentage de l'énergie utilisée par secteur d'activité

Energie Utilisée par Département							
SECTEURS	MLGTA+CENTRALE - BR	USINE PRODUCTION	USINE ATELIERS ET DIRECTION	PLANTATIONS	CENTRALE A BETONS - CO2	CITE DES CADRES	ENERGIE CONSOMMEE TOTALE
CONSOMMATION (kwh)	2 618 185	6 232 373	460 196	2 762 724	64 414	123 134	12 261 026
CONSOMMATION (%)	21,35%	50,83%	3,75%	22,53%	0,53%	1,00%	100%

Le secteur de la plantation utilise les 22,5% de l'énergie produite (moins du ¼) essentiellement pour pomper l'eau d'irrigation et de drainage des parcelles, le reste étant consommé par les diverses unités industrielles, les besoins domestiques et les installations informatiques de l'entreprise (Fig.28).

Les quatre stations de pompages d'irrigation utilisent donc cette énergie renouvelable produite durant l'année en fonction des besoins en eau fluctuants des cultures ce qui représente environ 260 000 000 m³/an.

Seule une faible partie (6,75%) de la biomasse produite est utilisée pour produire une nouvelle biomasse à la CSS (sur 11 000 ha) et sur des exploitations agricoles riveraines (sur 5500 ha).

Cette utilisation de la biomasse sous forme de bagasse à des fins énergétiques permet :

- Une production énergétique d'électricité renouvelable et locale permettant une économie de 18 milliards par/an
- Une réduction des émissions de CO₂ de 43 000 tonnes/an grâce à l'abandon presque complet de l'utilisation du fuel. Cela a comme corollaire l'éligibilité de l'entreprise aux crédits Carbone (3eme rang en Afrique de l'Ouest)
- Une offre en eau d'irrigation gratuite pour les petits producteurs riverains sur 5500 ha. Ceci leur permet production annuelle d'environ 16 000 tonnes de riz et de 4000 tonnes d'oignons (principalement). Les revenus bruts générés sont de plus de 2 milliards.
- L'obtention de sous-produits de l'usine sucrière et de la distillerie (cendres, filtrats de fumée récupérés, écumes, boues, vinasses) réutilisés comme amendements organiques aux champs. Ceci permet une réduction notable des achats et de l'utilisation des engrais de synthèse.
- L'utilisation des résidus de récolte et de pépinières comme fourrage d'excellente qualité pour les animaux domestiques.

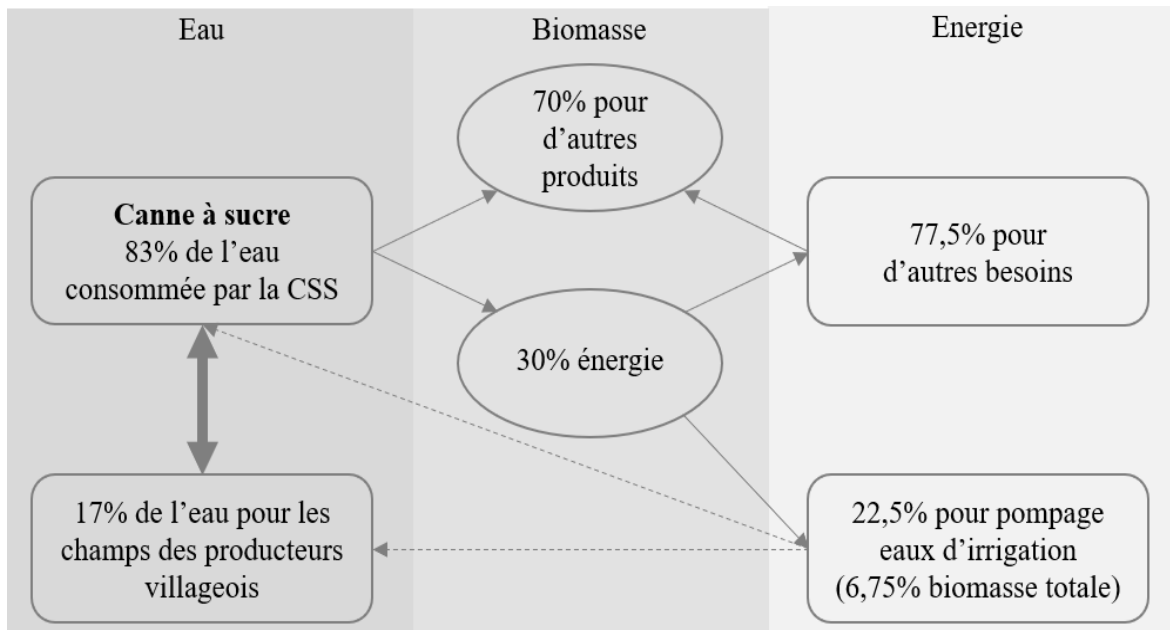


Figure 28 : Schéma détaillé de l'utilisation de la biomasse produite en énergie pour l'irrigation

Les prochaines étapes de l'approche, qui nécessitent de la recherche et des investissements à partir de 2020 environ, sont les suivantes :

- Transférer 28 GWh/an de la CSS vers le réseau électrique national au profit de la population voisine.
- Explorer la possibilité d'utiliser une canne à haute teneur en fibres énergétiques cultivée sur des sols pauvres autour des terres agricoles de la CSS qui pourrait être utilisée pour la production continue d'électricité en complément de la bagasse.
- Enfin, faire la promotion de projets de petites centrales électriques fonctionnant avec des variétés de canne à sucre rustiques et à haute teneur en fibres cultivées par les petits exploitants pour la production locale d'électricité dans les villages où l'électricité n'est pas encore disponible ou trop chère.

Ce cas particulier de la CSS n'est certes pas l'approche parfaite du Nexus Eau/Aliment/Energie, ni le plus exemplaire des modèles de production intégrée. Il bénéficie largement du haut potentiel d'une culture, produisant à la fois un aliment et de l'énergie. Mais cette culture est exigeante en intrants (800 kg/ha/an d'engrais) et en eau (22 000 m³/ha/an dont 16 000 net) sur une moyenne de 12 mois de culture dont 7 de croissance rapide (plante en C4). Ce système de production et de valorisation des produits se démarque d'autres où des produits alimentaires sont directement utilisés pour produire de l'énergie (ou du biocarburant), ce qui risque d'accroître le déficit alimentaire au profit de la sécurité énergétique (maïs, canne à sucre au Brésil, ...). On se rappelle que ce fut une des causes des événements tragiques de 2008 : flambée des prix et émeutes de la faim (OCDE, FAO, 2008).

Ce cas d'étude trouve sa pertinence scientifique dans la mise en lumière de tout le potentiel exploitable possible d'une production végétale (alimentaire, énergétique, social, environnemental...) à travers sa valorisation optimale. Le produit agricole est considéré comme une matière première, une ressource végétale devant alimenter toute une série de process

technologiques pour générer le maximum de produits finaux à usages alimentaires, énergétiques ou environnementaux.

Ce modèle ne pourra pas être reproductible par les milliers de petits producteurs de la zone, mais il peut servir de moteur de recherche pour alimenter la réflexion sur des modèles à échelle plus réduite et à technologie plus simple. Ces systèmes de production pourront mettre un peu plus l'accent sur une production à des fins énergétiques tout en restant intégrés aux systèmes existants. La priorité de mise en œuvre d'une production énergétique reste secondaire comparée à la gouvernance de l'eau à l'échelle du bassin versant du fleuve Sénégal. La mise en œuvre progressive de cette approche paraît réaliste si elle est participative et ne porte que sur une petite partie de l'exploitation. Cette diversification de la production pourrait réduire les risques économiques chez les acteurs actuellement fragiles et vulnérables. Elle pourrait être une évolution durable des petites exploitations dans la mesure où la demande en énergie renouvelable va continuer à croître dans les prochaines décennies.

I.2. Autres modèles Nexus possibles mettant l'accent sur l'énergie : canne énergie et irrigation avec l'eau de drainage

Les besoins énergétiques des acteurs de la zone du Delta vont grandissants et une mutation énergétique est nécessaire pour accompagner l'approche GIRE proposée. Face aux coûts économiques et environnementaux des énergies fossiles et au retard de propositions d'envergure dans les autres énergies renouvelables, il semble donc envisageable d'explorer la possibilité d'utiliser dans certains cas, la totalité de la biomasse de la canne à sucre pour produire de l'électricité. La réutilisation de la bagasse (biomasse issue de la canne) induit des économies de près de 18 milliards/an pour la CSS. Au sein du périmètre irrigué de la CSS ou dans son environnement proche cela pourrait se faire sur des sols à problèmes (pauvres, à difficulté d'irrigation ou (et) de drainage, enherbés) qui sont mal rentabilisés par la production pour le sucre.

Ainsi, la récolte de ces champs de canne dédiés à la production d'énergie se ferait en dehors de la campagne sucrière qui dure sept mois, pour ne pas concurrencer la production principale de la CSS qui resterait, bien sûr, le sucre. Cela permettrait, entre autres, d'utiliser pendant cette période la main d'œuvre agricole locale, le matériel de récolte et de transport mécanisé. Cela permettrait, enfin et surtout, d'alimenter la centrale thermique de la CSS avec de la biomasse produite sur place et non par de l'énergie fossile importée de l'étranger quand le stock de bagasse est épuisé.

Il faudrait, pour cela, avoir recours à des variétés appropriées, caractérisées par leur forte biomasse totale et leur adaptation à des sols pauvres ou légèrement salés. Il faudrait aussi adapter le système de culture pour réduire au maximum l'utilisation d'herbicides et d'engrais. L'utilisation parcimonieuse d'engrais, en réutilisant les cendres de combustion riches en potassium, peut conduire à une légère réduction de rendement de biomasse, mais cela peut être compensé par une réduction des coûts de production et une amélioration du bilan d'énergie de cette production de biomasse pour la production d'énergie.

Ces champs, s'ils sont situés à proximité des zones de rejets des eaux de drainage à l'extérieur du périmètre, pourraient, au moins en partie, réutiliser ces eaux de drainage. Cela permettrait à

la canne combustible de servir de filtre des produits polluants et en particulier des nitrates qui leur serviraient de fertilisants.

Dans ce concept d'utilisation de la canne pour uniquement de l'énergie, sans en extraire au préalable le sucre, celui-ci est considéré comme un combustible contenu dans toute la biomasse. Ce concept est nouveau, mais paraît avoir un intérêt dans certains milieux et contextes même si l'utilisation principale de la canne à sucre est et restera la production de sucre. Comme déjà indiqué, cela pourrait avoir un intérêt pour la CSS dans une approche Nexus eau/aliment/énergie en favorisant la production d'énergie issue d'un produit agricole local utilisant avec efficacité l'eau locale et l'énergie solaire pour la photosynthèse. La réduction du recours à l'énergie fossile pour la production d'électricité quand le stock de bagasse est épuisé permettrait à la CSS de participer à la réduction de l'utilisation de produits énergétiques fossiles (pétrole, charbon) dans le contexte actuel de changement climatique (Sall et al, 2020).

Si ce concept est nouveau, des travaux de recherches ont déjà été menés dans ce domaine avec des résultats très encourageants. On citera, en exemple, un travail mené en Guadeloupe pendant cinq ans dans le cadre du projet de recherche développement REBECCA (REcherche Biomasse-Energie, Canne à CApesterre). Pendant les trois dernières années, ces travaux ont été menés en partenariat avec un industriel (QUADRAN) déjà producteur d'électricité en Guadeloupe. Des recherches ont d'abord été menées pour identifier les meilleures variétés pour la production de biomasse dédiée à la production d'énergie électrique et pour caractériser les performances de ces variétés notamment leur rendement en matière sèche totale et leur taux d'humidité (Photo 20).

Il a ainsi été montré qu'en bonnes conditions de culture, pluviale mais sans stress hydrique, les deux meilleures variétés (WI81456, WI79460) de WICSBS (Les Barbades) pouvaient produire 81 tonnes/ha/an de matière sèche totale (résultat moyen sur 3 ans, vierge et deux repousses (Chopart, 2016). Ces variétés de canne à sucre riches en fibres ont été cultivées selon les mêmes pratiques conventionnelles que celles utilisées pour la canne à sucre commerciale locale, mais les rendements étaient plus élevés : +33 % pour les tiges et +71 % pour la biomasse totale sèche (Chopart, 2016). Malgré leur grande taille et biomasse, les deux meilleures variétés n'étaient pas plus sensibles à la verse que les variétés commerciales (Chopart 2016).



Photo 20 : Variété de canne à haut potentiel de fibre développée en Guadeloupe (REBECCA/CIRAD)

Des travaux ont aussi été menés sur les systèmes de cultures adaptés à cette nouvelle utilisation de la canne. Ces travaux ont montré que, dans les conditions locales de la Guadeloupe il était possible d'opter soit pour des cycles conventionnels de 12 mois soit des cycles de 8 mois permettant de faire trois récoltes en 24 mois avec des productions cumulées de matière sèche totale très proches au bout de deux ans (Chopart et al, 2015). Même si cela ne pourrait sans doute pas être transposé directement à la CSS, cela montre, au moins, qu'il est possible d'envisager la récolte de ces cannes en dehors de la période de la campagne sucrière. Il a aussi été montré que ces cannes fibreuses étaient peu sensibles au stemborer *Diatraea Saccharalis* (Chopart et al., 2015).

D'autres travaux ont montré qu'il était possible de réduire la fertilisation et les herbicides par rapport aux cannes à sucre conventionnelles, que ces cannes peuvent être coupées mécaniquement avec le même matériel que celui de la canne à sucre (Chopart, communication personnelle, Goebel et al. 2016). Elles sont aussi plus résistantes à la sécheresse, ce qui pourrait être un avantage en cas d'utilisation par des petits producteurs qui peuvent avoir une disponibilité en eau d'irrigation réduite ou irrégulière. Des études ont porté sur la gestion de la matière organique dans les systèmes de culture de canne fibreuse pour la biomasse montrant qu'il est possible d'y maintenir le stock de matière organique (Sierra et al, 2016). Le fait que les cannes fibre produisent plus de racines (Chopart et Sargent, 2015) contribue à ce maintien du stock organique du sol malgré des prélèvements de biomasse aérienne plus importants que dans les systèmes de culture de canne à sucre conventionnelle, en vert, sans brûlage avant la récolte. Enfin, il a été montré que le pouvoir calorifique de la biomasse sèche aérienne (LHVd, MJ/kg) était le même dans chaque partie de la canne fibre (tiges, feuilles vertes, feuilles sèches), avec une valeur d'environ 16,65 MJ/kg). Une excellente relation linéaire entre le LHVd et son rendement énergétique (MJ/m²), indépendamment du cultivar, de l'âge et de l'environnement, a été trouvée. L'évaluation de la teneur énergétique de la canne à sucre pourrait donc être simplifiée en mesurant uniquement la biomasse sèche aérienne (DAB, kg/m²).

Cette présentation succincte des résultats obtenus en Guadeloupe montre que des travaux scientifiques ont déjà été menés sur ce concept de canne biomasse dédiée à la production d'énergie. Il est en particulier possible de produire plus de 70 tonnes/ha/an de matière sèche totale (tiges et feuilles) avec des pratiques culturales simplifiées et économes par rapport à la canne à sucre conventionnelle pour la production de sucre avec en particulier une réduction des doses d'engrais et d'herbicides. Il a été montré que, contrairement à la production pour le sucre, il est possible de récolter la canne fibre après une durée de cycle cultural assez large entre 9 et 13 mois. Il semble que ces résultats obtenus en Guadeloupe pourraient être transposés dans les conditions environnementales et techniques de la CSS avec seulement quelques adaptations.

L'articulation du Nexus entre eau et énergie est clairement identifiée et cette orientation devrait permettre de résorber le déficit de la partie Energie dans la mise en œuvre globale du concept.

II QUEL MODELE DE PRODUCTION AGRO-ENERGETIQUE FUTUR CHEZ LES PETITS PRODUCTEURS

Le modèle testé actuellement à la CSS et les évolutions possibles qui viennent d'être citées ne seront, bien-sûr, pas directement transposables chez les petits producteurs de la zone. Il faudra

élaborer, avec ces acteurs divers, des solutions adaptées et sans doute diversifiées qui pourront mettre l'accent sur la production énergétique locale

II.1 Petits producteurs sur des terrains limitrophes de la CSS avec réutilisation optimisée des eaux usées

Chez les petits producteurs limitrophes de la CSS, il pourrait être envisagé une production de canne fibreuse rustique avec très peu d'intrants, coupée manuellement en dehors de la période de coupe de la canne à sucre. L'eau d'irrigation serait fournie par la CSS, et en partie à partir des eaux de drainage. Cette biomasse totale (tiges et feuilles) serait vendue à la CSS suivant une tarification à négocier entre le producteur et l'acheteur qui dépendrait du poids frais de la biomasse totale dans le chargement et de la teneur en eau de cette biomasse (paramètres objectifs et faciles à mesurer).

En effet, la possibilité de pouvoir estimer le rendement énergétique d'une culture de canne à sucre à partir de la biomasse aérienne humide et de sa teneur en matière sèche (Chopart et al. 2013) devrait être utile pour concevoir une méthode de paiement basée sur des mesures simples de la teneur en matière humide et en matière sèche, et un LHVd constant. La perspective d'un paiement clair et équitable aux petits producteurs du Delta de leur production de canne fibre sur la base de critères simple et objectifs devrait faciliter le développement de cette nouvelle culture.

La réutilisation des eaux de drainage de l'exploitation agro-industrielle de la CSS vers des productions agro-énergétique, donc sans grand risque de contamination, serait un point majeur dans l'articulation du Nexus dans cette zone et entre acteurs de la GIRE. Ce recyclage appelé communément ReUse en anglais est une option qui s'implante de plus en plus à travers le monde. En Israël, 90% des eaux usées sont recyclées en agriculture entre autres. Actuellement une bonne partie des eaux de drainage de la CSS sont réutilisées automatiquement (mais avec un suivi régulier des qualités chimiques) en irrigation à travers 3 stations de pompage mixte irrigation/drainage (KH1, KH2 et X3 bis). Les volumes annuels concernés sont d'environ 15 000 000 m³ soit environ ¼ des eaux drainées (Sall et al, 2020).

Ce concept de ReUse déjà évoqué plus haut avec les eaux résiduelles de l'usine est un point fondamental dans la conjonction GIRE/Nexus dans la mesure où les externalités négatives générées par l'agriculture irriguée surtout à faible efficacité dans le Delta seront en partie résorbées par la réutilisation de ces eaux polluantes vers des productions de biomasse et énergétiques.

Les nutriments présents dans les eaux usées agricoles (phosphore et azote surtout) actuellement considérés comme des polluants allant vers les milieux récepteurs (plans et cours d'eau) bénéficieraient d'une seconde vie et deviendraient à nouveau des fertilisants « gratuits » pour une production de biomasse-énergie. Leur valorisation à travers cette réutilisation semble donc une opportunité pour concilier agriculture alimentaire et énergétique. Ce concept peut donc être perçu comme le moteur futur du Nexus Eau/Aliment/Energie dans le Delta. Actuellement les recherches en cours permettent de cristalliser le phosphore des effluents de la production de biogaz par méthanisation et de le proposer sous une forme réutilisable (société Naskéo) mais cela n'est encore qu'un projet de recherche et ne concerne pas l'azote

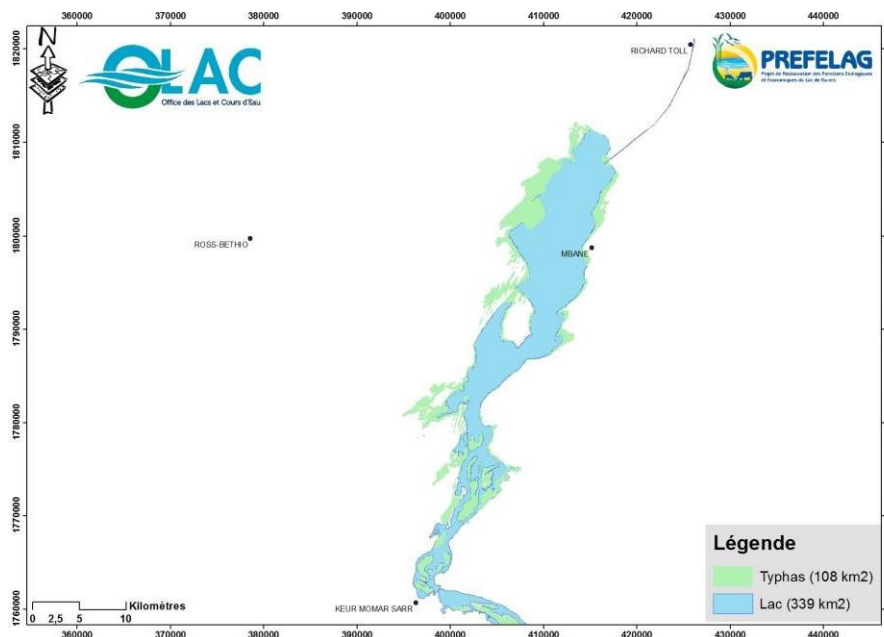
II.2 Petits producteurs plus éloignés de la CSS : canne villageoise et valorisation énergétique du Typha

Il semble envisageable d'élargir ce concept de production de canne énergie au bénéfice de petits producteurs déjà installés ou à installer dans des zones irriguées ou irrigables proches du fleuve, de ces affluents, ou en périphérie du lac de Guiers. Le produit ne serait alors pas vendu à la CSS, trop éloignée de la zone de production, mais utilisé localement pour produire une électricité locale grâce à des microcentrales rustiques implantées à proximité de la zone de production et fournissant de l'électricité pour un ou quelques villages. Cette « électricité rurale » serait alors un facteur de développement et réduirait le recours aux énergies fossiles coûteuses et participant, modestement mais réellement, au changement climatique.

Ces agriculteurs seraient sans doute, pour la plupart, néophytes en culture de canne à sucre. Ils auraient donc besoin d'être formés et encadrés au moins au début de leur production. La CSS, avec de nombreuses personnes ressources compétentes pourrait contribuer à cette formation et à cet encadrement, à côté des autorités locales, renforçant alors sa fonction sociale et RSE (Responsabilité Sociétale d'Entreprise) et assumant une partie du renforcement des capacités des acteurs vulnérables qui sont deux des aspects de la GIRE proposée.

De façon encore plus simple, la canne fibre bien séchée pourrait remplacer le bois pour la cuisson des aliments. Elle aurait alors un rôle dans la préservation de l'environnement local. Elle contribuerait aussi à l'alimentation, pas en tant qu'aliment comme le sucre, mais comme transformateur de produits alimentaires bruts non digestibles en absence de cuisson (comme le riz) en aliments cuits digestes. Cette canne fibre paraît donc avoir un potentiel d'utilisation utile dans un Nexus eau/aliment/énergie, qu'il serait intéressant de tester au bénéfice à la fois des populations, des industriels locaux et de l'environnement.

A côté de la canne fibre, une autre plante locale pourrait servir à une production locale d'énergie : il s'agit du Typha (*Typha australis*). C'est une plante aquatique des milieux humides qui prolifère autour du lac de Guiers (Carte 5) de ses affluents et aussi dans les canaux d'irrigation et de drainage à ciel ouvert de tous les producteurs de la zone. Elle perturbe actuellement leur fonctionnement hydraulique et leur utilisation. Cette espèce envahissante (1/4 du lac) pourrait, a priori, être utilisée comme biocombustible, comme la canne fibre, avec une finalité de protection de l'environnement en plus de celle de réduction des gaz à effet de serre déjà expliquée pour la canne combustible.



Carte 5 : Evaluation du niveau d'infestation du Typha en bordure du Lac (OLAC)

Selon la SAED, beaucoup de terres sont abandonnées dans le Delta, entre 2 000 à 3 000 ha annuellement à cause de l'envasement, de la sédimentation associée à l'enherbement massif des eaux des canaux d'irrigation (Kane, 1997). La recherche de prédateur biologique de la plante n'a pas donné beaucoup de résultats au Sénégal.

Les procédés chimiques bien qu'étant très efficaces, sont très coûteux et peuvent avoir des conséquences néfastes sur l'environnement. Il serait préférable de trouver une méthode d'extraction de *Typha* des zones infestées et de le valoriser par la suite. Si l'extraction est très importante, le surplus pourrait être utilisé dans les chaudières afin de produire de l'électricité ou employé dans des processus de compostage.

La prolifération des algues filamenteuses comme de la plupart des végétaux aquatiques fait suite à une combinaison de quelques-unes des conditions suivantes :

- Une eau riche en nitrates (dû à la présence d'une forte population animale ou du lessivage des sols agricoles sur le bassin versant alimentant le plan d'eau)
- Peu d'oxygène disponible
- Un pH de l'eau inférieur à 6 ou supérieur à 7.8
- Un couvert végétal trop faible et une abondante lumière
- Une pauvreté du peuplement bactérien

La résolution du problème causé par la végétation aquatique envahissante est donc une priorité pour le développement hydroagricole du Nord du Sénégal et pour rentabiliser les importants capitaux investis.

Une étude référencée par le projet ACT4SSAWS dans les rapports N°8, 2015 et N°13, 2016 nous renseigne sur les opportunités offertes par cette plante. L'OMVS travaille sur cette herbe aquatique depuis 2013 avec la coopération hollandaise (OMVS, 2013) et le GRET (GRET/OMVS, 2018) sur les différentes méthodes de lutte mais aussi la valorisation de cette

biomasse. L'UCAD à travers l'EDEQUE a entamé des études dans le cadre des Centres d'Excellence dans le Delta pour valoriser le typha et atténuer en même temps les conséquences négatives sur les cours et plans d'eau. Cette source de biomasse mérite donc une attention poussée car elle pourrait être utilisée en même temps que la canne fibre produite par les agriculteurs dans des microcentrales thermiques.

Pourtant la présence des végétaux aquatiques dans le Delta est marquée par un changement continu : des phénomènes d'inversion de flore liés à lutte ciblée contre certaines espèces en un moment donné ont contribué à cette situation. L'invasion par le *Typha* est récente car, en 1997, Kane souligne que le Typha est une espèce peu répandue. Le *Typha sp* et les algues, principalement le *Ceratophyllum demersum* constituent les espèces envahissantes les plus présentes. Le *Typha* (Photo 21) est très difficile à contrôler bien que gênant moins l'hydraulicité de l'eau comparé aux algues.



Photo 21 : Feuilles de Typha récolté et en séchage

C'est une plante qui ne se développe que dans des plans d'eaux inférieurs à 2,5m, ce qui fait du réseau de drainage un milieu de choix. Cette végétation, par son « effet de peigne », retient les matériaux solides contenus dans les eaux, ce qui favorise la sédimentation. Elle contribue à la formation de véritables bouchons et contribue de la sorte à l'étranglement de l'axe et à la rectification des courbes théoriques d'écoulement dans les canaux d'irrigation. Le Typha est aussi un véritable piège à sédiments dans la zone marquée par une forte action éolienne. Les tiges du Typha en ralentissant la vitesse d'écoulement des eaux entraînent une sédimentation qui se traduit par un colmatage des canaux et drains. La conséquence est la formation de véritables bouchons sablo-argileux des canaux d'irrigation et de drainage ralentissant ainsi la vitesse de l'écoulement (Cissé, 2011). Les propriétés chimiques du Typha (Tableau 32) font que cette plante peut servir à de multiples utilisations domestiques comme industrielles. Les femmes des villages environnants l'utilisent comme matière première pour confectionner les nattes après coupe et séchage (Photo 22).

Tableau 32 : Composition chimique du typha et comparaison avec d'autres résidus céréaliers (projet ACT4SSAWS)

Données Typha		Moyenne
Rendement Biomasse (T/Ha)		10 – 20 Tonnes
Humidité (balles)		6 – 25 (% Matière sèche)
Teneur en Phosphore		0.05 – 0.25 (% Matière sèche)
Phosphore capté		10 – 40 (kg/hectare) soit 1-2 (kg/balle)
Teneur en Cendre		5 – 7 (% Matière sèche)
Phosphore dans les cendres		1 – 3 (% Matière sèche)
Données comparatives avec autres céréales		
Culture	Rendement Moyen (T/Ha)	Maturité en jours
<i>Typha IISD (2006 – 2013)</i>	10 à 20	90
<i>Typha caroline du nord, USA (2009)</i>	16 (42 max)	90
<i>Typha Minnesota, USA (1980)</i>	25	90
Paille de blé	1 - 3	90 - 100
Tige de Maïs	5	110 - 120
Résidus de paille de canne (CSS, 2018)	20	350
Résidus de paille de riz (Delta)	15	120



Photo 22 : Récolte de Typha par les femmes villageoises en bordure du Lac

La transformation de la biomasse végétale de canne fibre ou de *Typha* en énergie peut être faite par combustion pour faire de la vapeur puis de l'électricité comme actuellement la bagasse ou pour cuire directement des aliments. Il est également possible de transformer cette même biomasse végétale en énergie par d'autres technologies comme la gazéification ou la pyrolyse. Ces alternatives pourront être étudiées et les choix finaux faits par les décideurs locaux en fonction de différents critères techniques économiques et sociaux qu'il n'est pas possible de détailler ici. On peut seulement inciter les décideurs à retenir des technologies et équipements simples, légers, peu coûteux, adaptés à une production sur de petites surfaces. Il est en effet souhaitable que cette production locale de bioénergie à partir de biomasses locales puisse être

appropriée et gérée par les entreprises et techniciens locaux, respectant le principe prôné par des économistes comme Léopold Kohr : « Small is beautiful ».

Une piste à envisager pourrait être l'appui aux coupeurs de bois-charbonniers qui reforestent les arbres protecteurs des berges du lac le long des endiguements avec un risque de rupture des digues, et qui pourraient être formés à récolter ou acheter du typha valorisable sous forme de combustible à revendre en substitutif au charbon de bois (Photo 23). Cette piste serait ainsi une contribution à la fois technique et sociale locale à l'approche Nexus. Plus globalement, il apparaît que chez les petits producteurs du Delta du fleuve Sénégal, il faut promouvoir des systèmes de productions intégrés exploitant toutes les valorisations potentielles des produits agricoles et certaines espèces spontanées comme le Typha.



Photo 23 : Charbon réalisé à partir de la biomasse séchée de typha (Cissé, 2017)

L'approche selon le Nexus Eau/Aliment/Energie ne pourra pas être uniforme et intégrale. Le déficit de développement du secteur de production agricole irrigué conjugué à une faible gouvernance de l'eau et des sols et à l'impact grandissant des changements climatiques sont autant de facteurs contraignants. Il faut tendre au maximum vers des systèmes intégrés qui exploiteront au maximum toutes les possibilités offertes par les produits agricoles au sens large du terme. Les systèmes de production agricoles actuels fragiles et extensifs ne sont pas encore prêts pour cette approche et pourtant ce sont ceux qui en ont le plus besoin. L'option qui se présente alors est d'encadrer la production à travers une approche GIRE en y intégrant des volets renforcement de capacités et formation continue sur des thématiques techniques afin de réduire le gap avec les agro-industries et les rendre ainsi plus résilients face aux bouleversements à venir.

Conclusion

Les approches Nexus et GIRE développées dans ces chapitres sont reconnues complémentaires par les Nations Unies (Mohtar et al, 2016) en ce sens qu'elles participent toutes à un développement durable et à une protection des services environnementaux essentiels. Dans le cas du Delta du Fleuve Sénégal, les disponibilités en ressources naturelles (eaux douces, sols, végétaux aquatiques transformables, soleil) sont largement favorables à des modèles de production développés dans le cadre de ces approches. Les populations locales consomment déjà l'énergie électrique issue de l'eau du fleuve (Barrage de Manantali) et du soleil (plateforme

solaire de Bokhol). Ces productions sont des indicateurs de la fiabilité et de la viabilité de ces formes de productions dans cette zone.

Le besoin continu de recherches pour alimenter les choix politiques mais surtout l'action est une demande que l'approche transdisciplinaire observée à travers les thèmes débattus dans le Nexus pourrait aider à orienter (Hoolohan, 2018). Les études de cas et leur formalisation, la validation des résultats obtenus, le renforcement continu des capacités et l'appropriation de ces concepts par les producteurs sont autant de points sur lesquels des travaux futurs pourraient nous éclairer un peu plus en zone sahélienne. Il est possible pour cela d'utiliser le *W-E-F Nexus Tool 2.0*, un outil développé pour ce type d'étude au Qatar et qui a fait ses preuves ailleurs (Daher et Mohtar, 2015). C'est une plateforme construite sur la base de scénarios afin de déterminer les liens entre des systèmes énergétiques, hydriques et alimentaires et sur de multiples échelles spatiales et temporelles (internationales, nationales, régionales ou de bassins hydrographiques). Il offre ainsi un cadre structuré où nos scénarii décrits pourront être évalués et des stratégies d'allocation durable des ressources élaborées avec des références fiables.

Il faudra à coup sûr, dans des études futures, promouvoir d'autres types d'indicateurs plus complets comme par exemple le développement des techniques de calcul de l'empreinte eau des cultures irriguées, un concept qui pourra expliquer de manière pertinente les résultats des approches développées dans ce chapitre. L'approche Nexus Eau/Aliment/Energie, elle tend, à se développer et à englober logiquement la Santé et l'Education (Mohtar et all, 2019) et ainsi, à travers l'alliance de ces cinq piliers, prendre en compte l'ensemble des besoins de base des sociétés rurales.

Sur la base d'investissements ciblés, cohérents et planifiés, des options techniques et des pratiques pertinentes sur la mise en valeur des terres (filtrants ou lourds salés) ont pu permettre à la CSS de corriger les contraintes physiques notées dans la première partie et qui constituent un frein à la production agricole irriguée dans le Delta. Les excellents résultats agronomiques (2^{ème} niveau de rendement mondial en Tsucre/ha) et pédologiques (amélioration continue de la surface des sols cultivés) plaident en faveur de ces avancées (figures 29 et 30).

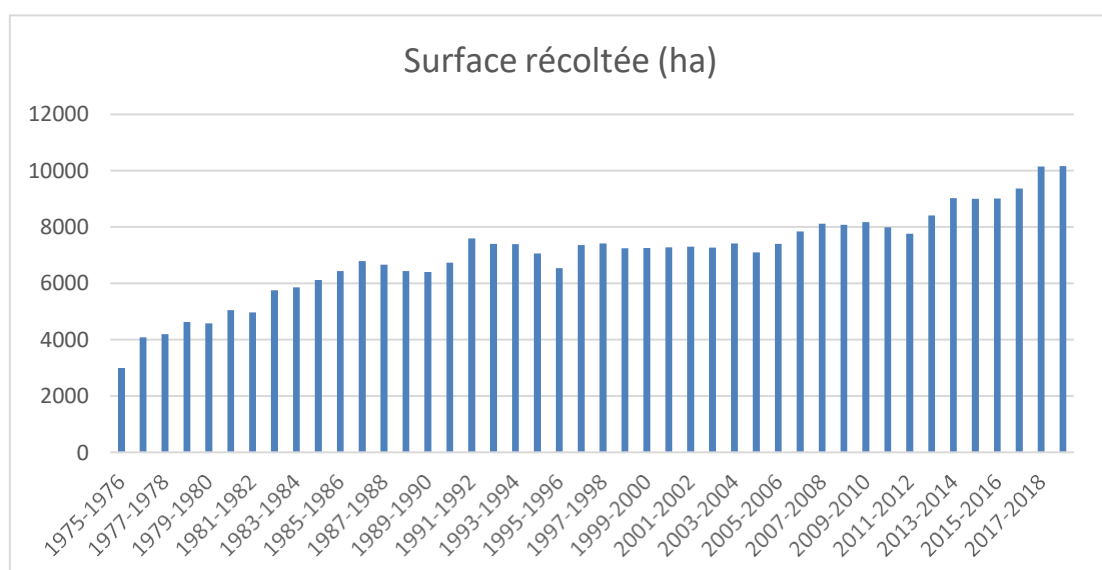


Figure 29 : Evolution des surfaces récoltées à la CSS entre 1975 et 2018 (Sall, 2020)

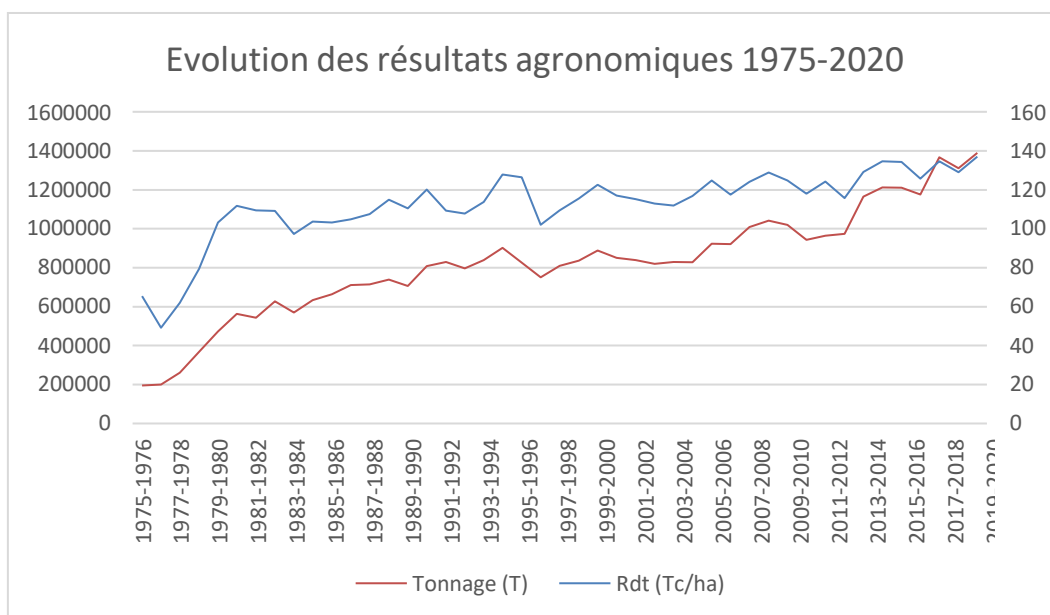


Figure 30 : Evolution des productions de canne (tonnage total et rendement/ha) à la CSS entre 1975 et 2018 (Sall, 2020)

L'exemple type des études menées dans le périmètre de la CSS pour le contrôle de la salinité par un drainage efficace offre une opportunité pour promouvoir différentes techniques de lessivage des sels solubles. Les coûts relativement élevés et les études pointues ne peuvent cependant pas être accessibles aux petits producteurs ruraux sur de faibles surfaces emblavées. Comme déjà dit, un renforcement des capacités, un encadrement rigoureux et la mise en place de CUMA (Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole) pourraient permettre de dupliquer ces choix techniques. La CSS pourrait cependant aider à promouvoir l'ensemble des choix et pratiques agricoles pertinents dans le cadre de transfert de technologie à travers le modèle de GIRE proposé.

Troisième partie :
**OPERATIONALISATION DE LA GIRE : UNE STRATEGIE
DURABLE DES SYSTEMES IRRIGUES DANS LA ZONE DU
DELTA DU FLEUVE SENEGAL FACE AUX
CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

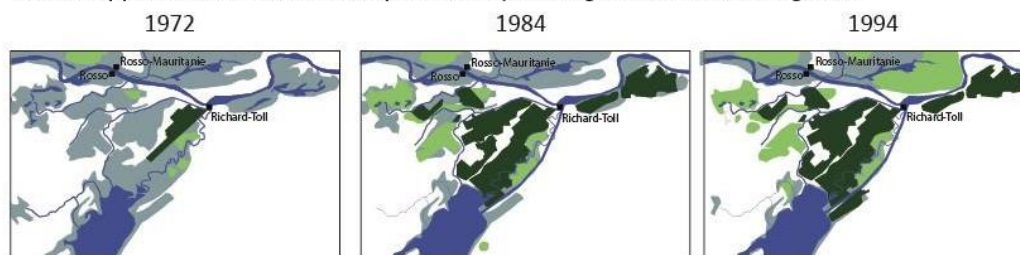
Les investissements ciblés proposés et les avancées technologiques débattues dans les premières parties sont des options majeures indispensables à une amélioration de la gestion de l'eau agricole, de la pratique de l'irrigation et de la productivité agricole. Cependant, l'histoire de l'agriculture irriguée dans le Delta a montré que, plusieurs fois, des investissements colossaux ont été consentis et des techniques nouvelles proposées sans arriver à de réels impacts durablement positifs. Ils se révèlent donc insuffisants pour accompagner la durabilité des activités hydro-agricoles. Il faut intégrer des modes d'organisation et des orientations nouvelles capables d'accompagner ces changements techniques. Plusieurs paramètres entrent alors en ligne de compte pour valider, dans la durée, ces changements positifs attendus dont les principaux sont la gestion efficiente et préservation des ressources naturelles (sol et eau surtout) et un développement intégré des systèmes et modèles de production en présence.

La zone du Delta, à l'image de la Vallée, est marquée, ces cinq dernières années (2015- 2020) par un regain de l'activité agricole découlant d'une volonté politique manifeste de promouvoir la production rizicole et légumière, un contexte international relativement favorable avec la baisse du prix du pétrole et la hausse des cours des denrées agricoles mais surtout une nette hausse de l'initiative privée agricole aussi bien agro-industrielle que familiale (PME Agricoles). Tout lopin de terre cultivable et situé à distance raisonnable d'un point d'eau fait l'objet d'un aménagement, même sommaire et, souvent, d'une double culture annuelle. Les terres autour des canaux d'irrigation principaux de la CSS n'échappent pas à cette nouvelle donne, ce qui incite la CSS et ces petits producteurs à une réflexion commune devant aider à asseoir des systèmes de gestion et d'exploitation simple, durable et rentable. L'année dernière, la mise en valeur des terres des petits producteurs ruraux avec l'offre en eau de la CSS a généré sur environ 5500 ha des résultats bruts d'environ 2 milliards de FCFA (Diop, 2017).

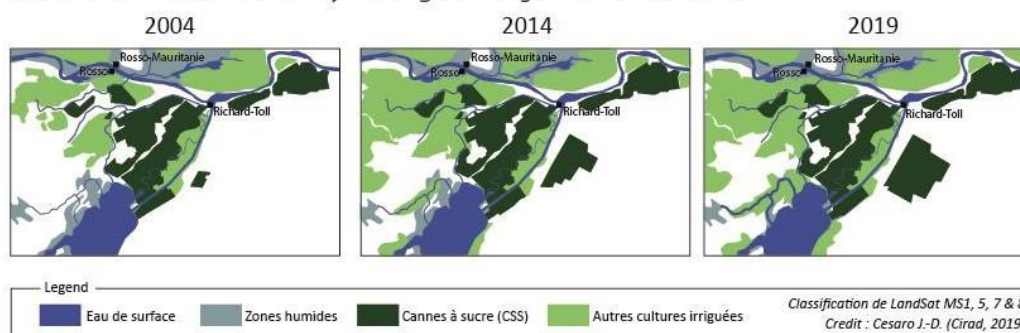
Les problèmes de déficit de gestion de la ressource en eau pour l'irrigation ne sont pas inhérents à la zone d'étude. Wellens (2014) souligne que plusieurs grandes zones irriguées (Bassin versant du Kou au Burkina, Office du Niger au Mali et Plaine de la Tadla au Maroc) subissent les mêmes contraintes à des degrés divers et ont des besoins réels en outils de planification et d'aide à la décision. Ceci montre la nécessité d'arriver à trouver des partenariats gagnant-gagnant pour tous les acteurs concernés par cette situation, ceci dans un cadre clairement posé prenant en compte les besoins et les objectifs de tous les acteurs de la filière agricole locale : privés industriels, ruraux agriculteurs, pisciculteurs et pasteurs. L'évidence, malheureusement, est que ces acteurs ne travaillent pas souvent ensemble. La BAD expose dans son rapport sur le Sénégal un point fondamental : l'agriculture souffre de la faible structuration des chaînes de valeurs et l'absence de synergie entre l'agriculture familiale et l'agro-industrie (BAD, 2017).

Extension des zones irriguées et de culture de la canne à sucre autour de Richard-Toll

1. Développement du casier historique (CSS) : système gravitaire sur sols argileux



2. Extension de Bardial (CSS) : système goutte-à-goutte sur sols sableux



Carte 6 : Evolution des installations de la CSS et des acteurs ruraux locaux (Cesaro, 2019).

Après avoir acquis en 1970, dans le domaine national des terres et des infrastructures physiquement reliées à celles des producteurs riverains, la CSS a défini, depuis des décennies, des accords bilatéraux avec les acteurs formels (Unions, coopératives, associations d'éleveurs) pour leur octroyer gratuitement de l'eau pour l'irrigation avec des prises d'eau et l'abreuvement du bétail avec des mares villageoises. Ainsi, le développement de la CSS est intimement lié à l'extension de zones de culture villageoises autour d'elle (Carte 6). Cependant, de plus en plus, tout autour du périmètre de la CSS, sont apparus des acteurs informels qui se connectent de manière anarchique sur le réseau avec tous les risques possibles (cassures des canaux, baisses des charges, mauvais réseau de drainage, utilisation excessive de l'eau avec faible productivité...). Ces nouveaux acteurs sont, la plupart du temps, tolérés car ce sont souvent des travailleurs ou des retraités de la CSS.

Mais le besoin d'un cadre adapté au contexte se pose avec acuité car un statu quo de la situation actuelle pourrait à terme être néfaste à tous les acteurs et entraîner des restrictions de la part de la CSS et/ou des situations de déficits hydriques pour les parcelles les plus éloignées des points d'eau surtout avec la prolifération continue des végétaux aquatiques. Ce partenariat gagnerait aussi à être assez bien étoffé et formalisé pour servir d'exemple pour tous les autres agro-industriels et ainsi entraîner un cercle vertueux de développement agricole intégré. Cette étude entre dans ce sens pour en poser le contexte et les récents acquis.

CHAPITRE 9 :

Quelle option pertinente pour la préservation des systèmes agricoles dans le delta : une GIRE opérationnelle et adaptée au contexte local

La gestion de l'eau promue durant les années 1980 a montré des limites évidentes liées aux changements climatiques récents mais surtout aux besoins divers et variés dans des contextes multidimensionnels qui induisent des demandes supplémentaires et polluantes. La solution retenue (GIRE soit Gestion Intégrée des Ressources en Eau) n'est pas toute nouvelle car elle a plus de 60 ans d'existence mais traîne une réputation incertaine par rapport à sa réalisation, qui n'a jamais été évaluée de façon objective, compréhensive ou critique (Biswas, 2004).

Depuis la conférence de Mar Del Plata en 1977, diverses rencontres internationales ont permis de développer un consensus sur les principes généraux de gestion des ressources en eau, notamment à Dublin et Rio en 1992. A la suite de ce sommet de Rio, Le Global Water Partnership (GWP) est créé en 1996 par la Banque Mondiale, l'UNDP et l'ACDI pour promouvoir l'approche de GIRE en regroupant tous les acteurs publics et privés et en appuyant les pays membres sur la définition et la mise en œuvre de cette approche GIRE (Wellens et all, 2018).

En 2000, sous l'impulsion du comité technique consultatif ouest-africain du GWP (GWP-WATAC), la région Afrique a préparé une vision régionale de l'eau à l'horizon 2025, à la suite d'une consultation avec les principales parties prenantes. La vision : « Vision Ouest Africaine pour l'eau, la vie et l'environnement pour 2025 » a été présentée et discutée au forum mondial de l'eau de la Haye en 2000. Elle s'énonce ainsi :

« En 2025, les ressources en eau sont gérées de façon efficace et pratique, d'une manière durable pour l'environnement afin que chaque personne dans la région puisse avoir accès à l'eau potable saine pour les besoins de base, à des structures d'évacuation des déchets, à la sécurité alimentaire ; que la pauvreté soit réduite, que la santé humaine soit protégée, et que les biodiversités des systèmes terrestres et aquatiques soient protégées. »

Selon une autre déclaration de la CEDEAO en 1997, « la GIRE est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées en vue de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité d'écosystèmes sociaux ».

Toutes ces définitions et observations ont en commun une volonté claire d'une gestion rationnelle et intelligente de la ressource eau sans exclure de cette gestion les autres ressources connexes (sols, biomasse, énergies éolienne et solaire...). L'approche de Biswas (2004) est aussi très pertinente même si elle demeure trop critique. Cet auteur souligne le caractère « irréalisable et inutilisable » de la définition de la GIRE du GWP en termes d'opérationnalité. Or, la GIRE est tellement complexe et vaste qu'elle va rester un vain slogan si nous ne parvenons pas à l'opérationnaliser dans le temps et l'espace le plus adapté. Biswas souligne que « La définition de la GIRE est une réflexion importante. En réussissant à résoudre le problème de la définition de façon opérationnelle, il peut être possible de le transformer en des

critères mesurables, qui peuvent être utilisés ensuite pour évaluer le degré auquel le concept d'intégration a été appliqué dans un cas spécifique, et également l'importance universelle et l'utilité du concept ».

Il existe une question fondamentale à laquelle aucune réponse n'a été donnée, ou pour laquelle aucune réponse sans équivoque n'a pu être trouvée vu l'état actuel des connaissances : quels sont les paramètres qui doivent être observés pour indiquer qu'un système de ressources d'eau fonctionne de façon intégrée, ou que le passage d'une étape intégrée à une étape non intégrée, et vice et versa, est en train de se passer ?

Le seul attrait conceptuel ne suffit pas : si un concept veut être valable, il faut pouvoir le mettre en pratique afin de trouver de meilleures et plus efficaces solutions ».

Selon Biswas, d'un projet conceptuel mainte fois débattu, la GIRE doit maintenant s'énoncer sous une approche opérationnelle afin de pouvoir servir à quelque chose. Notre position retenue, plus nuancée, est que la GIRE a besoin de renouveler régulièrement, à chaque endroit du monde, son approche conceptuelle mais surtout une opérationnalisation ciblée et durable, spécifique à chaque contexte régional ou local, tout en respectant autant que possible ses principes directeurs (Annexe 5).

La GIRE n'est pas une approche nouvelle dans le bassin de l'OMVS et donc dans le Delta du fleuve Sénégal. En effet de 2007 à 2013, l'organisme a élaboré et mis en œuvre la première phase du Programme de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PGIRE 1). Les succès enregistrés dans ce programme à l'échelle du bassin ont permis d'obtenir auprès du bailleur (Banque Mondiale) le financement de la deuxième phase (PGIRE 2) dont l'exécution concerne la période 2014-2021. Au plan national et local un autre projet, le PAGIRE (Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau) piloté par la DGPRE et adossé au PEPAM-UE œuvre depuis 2007 pour la mise en place de plans et de comités d'actions locaux capables de tirer les communautés locales vers un développement intégré. Plus récemment des partenaires scientifiques dont le Gret et l'Université de Liège appuient ces initiatives afin de faciliter l'opérationnalisation du concept.

Au-delà des phénomènes climatiques énoncés dans la première partie, difficilement maîtrisables et ayant des impacts sur l'agriculture irriguée identifiés par plusieurs études, les systèmes de production agricoles irrigués dans le Delta du Fleuve Sénégal sont tous menacés par plusieurs raisons différentes. Il n'est pas seulement question de productivité agricole et de résultats économiques. La rentabilité écologique, la durabilité et la résilience face aux changements climatiques seront les critères les plus pertinents dans les 10 prochaines années face à tous les enjeux et menaces qui s'annoncent. Il nous faut changer de modèle de développement.

Selon Kane (1997), le modèle de développement majoritaire dans la zone (riziculture intensive sur de grands aménagements fortement morcelés) paraît assez paradoxal : il est intermédiaire entre la riziculture classique largement répandue en Asie du Sud-Est et la culture itinérante traditionnelle africaine. Il se caractérise par des investissements lourds qui sont assez faiblement rentabilisés jusqu'à présent, et il ne doit son maintien qu'à l'existence de nouvelles terres à

mettre en valeur grâce au recours à des financements acquis au plan international. C'est pourquoi ce modèle ne peut guère être qualifié de durable.

Tableau 33 : Typologie simplifiée des principaux modèles de production agricole du Delta

Type de modèle agricole	Exemple d'acteurs	Menaces principales
Productiviste-intensive	CSS-CASL sur de grandes surfaces	Stabilité du foncier-coût main d'œuvre élevé-soumis aux prix des denrées mondiaux-conflits avec riverains-sources de pollutions mais très réglementé
Intermédiaire PME	Polyculture intégrée sur des surfaces moyennes	Rentabilité-accessibilité à l'eau-Financement de la production-tenue des filières-concurrence des produits mondiaux-transformation agro-alimentaire-conflits avec pasteurs. Faiblement réglementé
Subsistance fragile	Riziculture ou maraichage sur des exploitations de faibles surfaces	Accès au foncier-Accessibilité et disponibilité de l'eau-insécurité alimentaire et énergétique-vulnérabilité accentuée et aucune réglementation effective

Les menaces liées aux trois principaux types de production agricole listées dans le Tableau 33 sont complexes à diagnostiquer. Elles constituent pourtant les sources principales de l'instabilité ou de la faible rentabilité des exploitations agricoles. Elles appellent une série de corrections que nous allons identifier par la suite car il semble très difficile, vu la tendance actuelle, de trouver des solutions « clé en main » pour chacune des menaces citées.

Cependant, une chose est certaine : une opérationnalisation de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (et des Terres) est nécessaire comme souligné par Biswas. Elle sera promue par des acteurs scientifiques et techniques. Cette voie est la seule qui puisse aider efficacement les systèmes de production des zones sous-développées du Sahel à s'orienter vers des approches simples, mixtes et résilientes.

I. EXEMPLE TYPE D'UNE PROBLEMATIQUE LOCALE : MARAICHAGE ET ARBORICULTURE EN PERIPHERIE DES CANAUX DE LA CSS AVEC PIRATAGE DU RESEAU D'IRRIGATION

Ce modèle de production découle d'une opportunité offerte par la présence de surfaces agricoles non exploitées en périphérie des canaux principaux de la CSS. Les populations locales, vulnérables pour la plupart, ont vu une opportunité d'exploiter rapidement et à faible coût des surfaces agricoles pour des cultures de 3 à 4 mois avec des résultats à marge intéressante : 150 000 à 500 000 FCFA/ha (CSS, 2017).



Photo 24 a et b : Champs d'oignons et d'aubergines en cultures associées des petits producteurs le long du canal (CSS, 2010)

Dans ces parcelles aménagées en planches et rigoles (Photos 24 a et b) les cultures sont disposées de façon horizontale et verticale afin de mettre sur un espace de culture, plusieurs spéculations. La parcelle est divisée en sous-parcelles, traversées par des canaux creusés par les petits producteurs afin de garder l'eau. Le système de cultures associées, bien disposées est un moyen pour gagner de l'espace comme la parcelle n'évolue pas, les petits producteurs utilisent rationnellement des parcelles de 0,5 hectares disponibles en moyenne en les divisant en micro sous parcelles.

Tableau 34 : Surfaces et volumes d'eau utilisés par les populations et la CSS sur les canaux de la CSS

Année	2003	2015	2016
TOTAL CASIER Agricole CSS (m3)	218 600 000	261 300 000	315 300 000
Total besoins riz et oignons (m3)	17 200 000	35 200 000	59 600 000
Surfaces estimées populations (ha)	1 700	3 900	5 200
Prélèvements abreuvoirs (m3)	14 100 000	16 200 000	18 000 000
Prélèvements population (m3)	10 300 000	14 400 000	15 200 000
Pompage bruts canne (m3)	177 000 000	195 500 000	222 500 000
Surface irriguée canne (ha)	7400	9 600	10 420
Cons. bruts canne (m3/ha)	23 900	20 365	21 350
Besoins canne (l/s/ha)	0,76	0,76	0,76

Les résultats du suivi hydraulique du réseau d'irrigation à la CSS de 2003 à 2016 montrent une augmentation des volumes d'eau utilisés respectivement pour la CSS de 25% et des populations riveraines de plus de 200 % (Tableau 34). Les surfaces agricoles des populations environnantes concernées passent de 1700 à 5200 ha soit un triplement des surfaces alors que celles de la CSS passent seulement de 7750 ha à 10 420 ha soit une augmentation de 25%. Ces résultats ont été rendus possibles par l'extension en système goutte à goutte à la CSS, qui a permis une économie d'eau et par une gestion plus rigoureuse du système d'irrigation gravitaire afin de réduire les excédents d'eau.

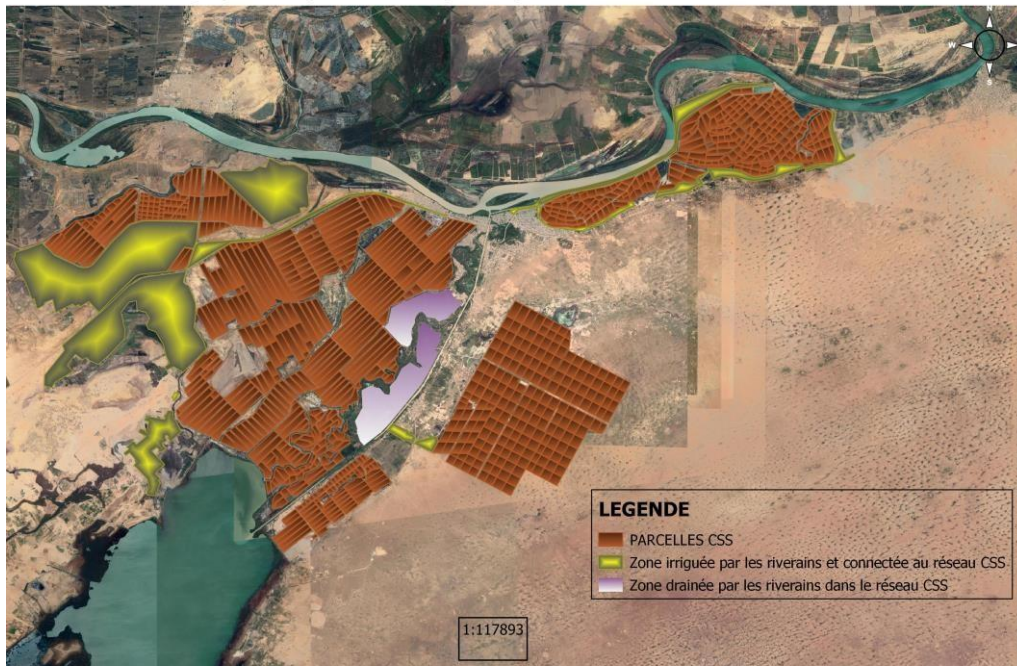
A l'image de cette zone prise en exemple, les prélèvements d'eau par les petits producteurs ont augmenté partout dans la Vallée. Ils sont estimés en 2018 à 3,32 milliards de m³ d'eau, soit 26% de plus qu'en 2017 et 29% de plus qu'en 2016 (rapport CPE/OMVS, juin 2019). Tous les acteurs ont besoin d'augmenter leurs surfaces agricoles pour appuyer la politique de sécurité alimentaire et donc leurs besoins en eau (sucre et alcool pour la CSS, riz et cultures horticoles pour les autres usagers). Face à ces augmentations rapides des besoins, il existe un risque d'insuffisance temporaire de la ressource en période de pointe. Une grosse partie de la surface cultivée par les « cultivateurs informels » n'est pas déclarée (phénomène de piratage du réseau), elle échappe donc au contrôle des responsables des associations d'usagers ruraux comme des services de la CSS.



Photo 25 a et b : Parcelle d'aubergine d'un producteur riverain avec un kit de micro-irrigation (CSS, 2017)

Une solution possible serait d'équiper les riverains et de les aider à s'équiper en micro-irrigation. La CSS a déjà ainsi testé l'installation de parcelles villageoises en kit « Family system » (Photo25) à basse pression sur de petites surfaces (environ 30 ha en 2016). Les kits sont négociés avec le fournisseur de la CSS en matériel d'irrigation à chaque gros achat. Cette option est une porte d'entrée vers un transfert de technologie de l'agro-industriel vers le producteur car l'installation s'accompagne d'un volet formation. Cette formation est facilitée par le fait que la très grande majorité de ces petits exploitants sont des ouvriers agricoles des fermes de la CSS.

Cartographie des périmètres exploités par les riverains autour de la CSS



Carte 7 : Carte du périmètre de la CSS et des zones villageoises en périphérie (CSS)

A travers ce boom des aménagements hydroagricoles (Carte 7), il est important de noter que de nombreux facteurs économiques et sociaux ont poussé une partie des populations rurales autour de Richard-Toll vers une agriculture de type familial développée autour des périmètres de la CSS. Le casier sucrier est ainsi le noyau essentiel de ce système de production, car l'irrigation se fait à partir des canaux de la CSS. Les paysans et la Compagnie forment « *un système moléculaire* » comme disait Engelhard (1988) et donc si le centre s'effondre c'est pratiquement tout le système qui est menacé. Pour que le système se pérennise, le canal principal doit être protégé. Or, la principale évolution actuelle du système repose sur un piratage archaïque et des risques de cassures ou d'effondrements liés à la qualité des prises sauvages. Toujours est-il que ce prélèvement « gratuit » sur le réseau de la CSS est intéressant car la part de toutes les charges d'irrigation qu'ils auraient dû supporter (motopompe, carburant, entretien, gestionnaire station) représente environ 40% des charges totales (OLAC, 2018).

La durabilité de ce système centré autour des canaux principaux de La CSS repose sur :

- La formalisation et une organisation claire et légale des activités des populations
- L'insertion de tous les acteurs dans un schéma hydraulique commun avec une maîtrise des surfaces à emblaver
- Un suivi mixte ou des agents d'encadrements afin de constituer des garde-fous mais aussi aider à négocier l'utilisation de l'espace et la protection des investissements même s'ils sont faibles.

II. QUELLE SOLUTION DURABLE A CES TYPES DE PROBLEMATIQUES IDENTIFIEES ?

La CSS a hérité en 1970 du périmètre rizicole de la SDRS reconverti en canne à sucre avec aussi une fonction de soutien (social) aux surfaces agricoles du Colonat de Richard Toll. La coexistence entre les deux structures est obligatoire et tacite. Cependant la CSS s'est longtemps trouvée, à ses débuts, prisonnière d'un système central et dirigiste trop rigide piloté par des techniciens qui n'ont pas toujours eu le recul souhaité face aux activités des autochtones. Il aura fallu attendre la fin des années 1990 pour voir la situation évoluer. Après plusieurs concertations avec les acteurs riverains et en tenant compte du rôle moteur qu'elle doit jouer (RSE, regain des activités rizicoles après une phase de léthargie dans cette zone du Delta), la CSS a proposé un nouveau modèle de gestion des eaux agricoles. Le modèle de GIRE ainsi proposé est celui en phase de test dans le Delta autour des canaux d'irrigation de la CSS. C'est une zone relativement réduite mais néanmoins assez représentative du Delta (problèmes liés aux sols et aux eaux, modèles agro-économiques, types d'acteurs, élevage semi extensif ...).



Photo 26 : Mare permanente installée pour les éleveurs (CSS)

Les acteurs de la zone ont pu enclencher, depuis quelques années, une coopération structurée autour de l'utilisation de l'eau des canaux d'irrigation de la CSS, des terres adjacentes par les agriculteurs, des résidus de récolte de la canne et de marres artificielles pour les éleveurs (Photo 26). Cette coopération schématisée dans la repose sur une série d'actions testées depuis presque 10 années.

Il s'agit maintenant d'analyser, de modéliser puis de renforcer et d'améliorer le dispositif mis en place afin d'arriver à de meilleurs résultats agricoles et économiques et à une gestion participative et conservatoire des ressources naturelles intégrant d'autres acteurs et toutes les dimensions retenues dans le cadre d'une GIRE.

La réflexion actuelle s'oriente donc naturellement vers une GIRE axée sur un *Partenariat de Privé à Privé* et qui tient compte des contextes de production des différents acteurs. Cette Gestion Intégrée à l'échelle du bassin versant des canaux principaux externes du casier gravitaire aura 3 **objectifs** fondamentaux :

- Une amélioration de l'offre en eau et de la productivité de l'eau agricole allouée à chaque acteur et qui sera la loi de base du modèle
- Une porte d'entrée vers une multi production agricole (de types industriel, semi industriel, familial privé, PME rizicole, élevage semi extensif et intensif) stable, durable, rentable et propre pour arriver à une sécurité alimentaire globale à moyen terme.
- Un cadre pouvant servir de modèle de partenariat sur l'eau agricole et de développement durable des exploitations familiales autochtones. C'est une organisation nécessaire à la pérennité des agro-industries allochtones qui doivent se faire accepter et accompagner par les populations locales rurales, notamment sur la question du foncier.

Le schéma détaillé (Figure 31) présente le fonctionnement local cohérent et l'organisation agricole autour d'un canal à haut débit (cas de la CSS).

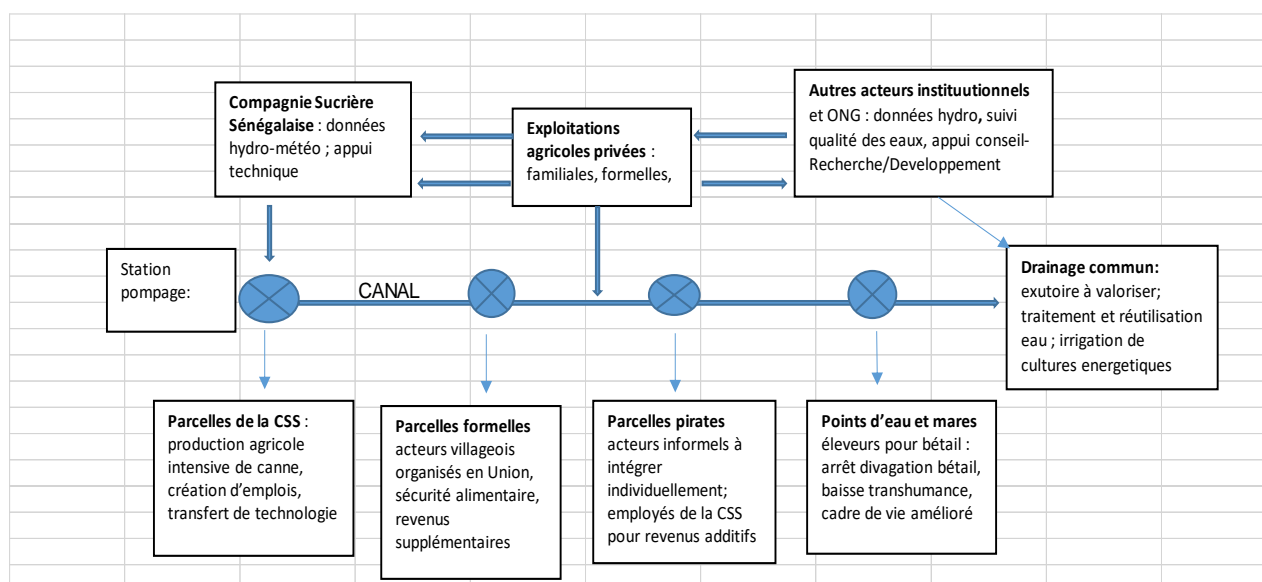


Figure 31 : Schéma simplifié du modèle de GIRE promu par la CSS et les acteurs riverains

La Figure 31 présente grossièrement mais de manière distincte, par type d'activité, l'ensemble des acteurs concernés, des offres proposées, des gains attendus et des obligations de chacun vis-à-vis du modèle de gestion proposé.

- Le système hydraulique central : un canal à haut débit (ici de 12 m³/s) correctement alimenté par une station de pompage sans restriction durant 12 mois.
- Le système de production : un acteur propriétaire (ici la CSS) qui a des besoins élevés mais largement en dessous de la capacité du canal et dispose donc d'un surplus conséquent (1/3 de la capacité). Toutes les charges liées à ce canal comme la station sont du ressort de la CSS.
- Une offre en eau réelle gratuite ou à faible coût pour tous les autres acteurs agricoles (maraichers et riziculteurs) autour du canal principal.

- Une utilisation rationnelle d'une partie de cette offre vers les zones pastorales périphériques avec la création et l'entretien de mares et d'abreuvoirs pour bétail.
- Presque tous les acteurs du système hydraulique sont ou ont été actifs sur le périmètre de la CSS et disposent donc des connaissances pour capter la ressource en eau.

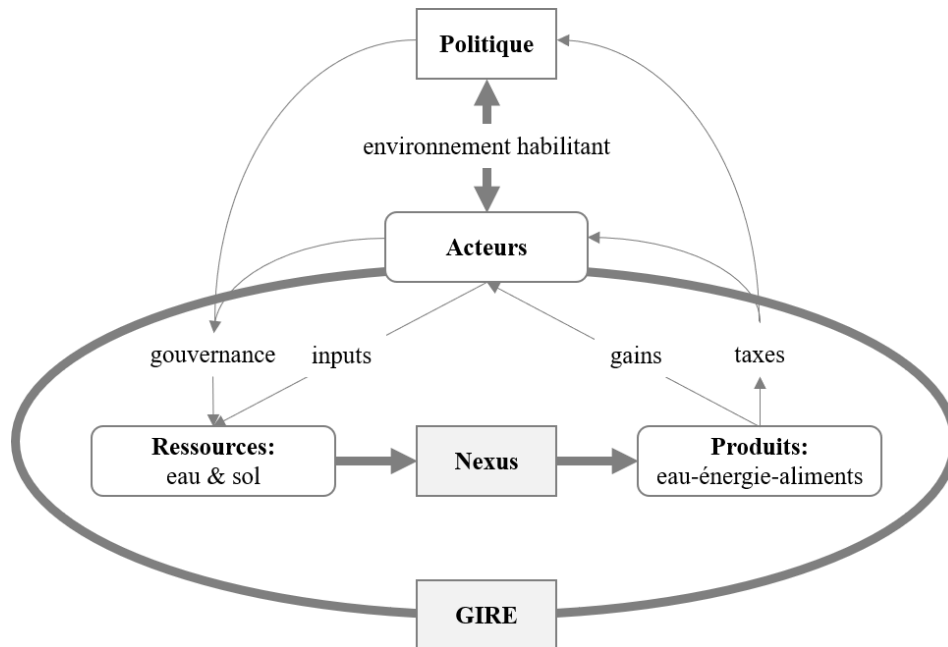


Figure 32 : Schéma conceptuel du mode de gouvernance et de mise en œuvre des modèles de GIRE et Nexus dans le Delta (Sall, 2019).

Le schéma ci-dessus (Figure 32) présente le canevas d'une organisation qui pourrait aider à asseoir une gestion durable des sols et des eaux dans le cadre des productions agricoles irriguées dans le Delta. La partie Formation/Renforcement de Capacités/Accompagnement (entre acteurs et politiques ou décideurs) sera traitée dans le chapitre suivant. La partie Nexus fait un lien optimisé entre les ressources disponibles et les produits. Il a été traité dans le chapitre 8.

Les principaux points suivants sont des **préalables** à comprendre avant de détailler l'approche GIRE :

- Les approches GIRE proposées ici ne seront plus sous le contrôle direct de l'Etat comme dans les premières tentatives au début des années 1990. Elles devront être portées et organisées par des acteurs majeurs (surtout les entreprises agricoles) qui devront comprendre qu'ils ont intérêt à tirer la gestion participative et inclusive des ressources naturelles vers des modèles de coopération centré autour des sources d'eau et ainsi éviter à tout prix les conflits. Ces acteurs majeurs devront comprendre que leur pérennité dépend de la viabilité et de la durabilité des petits exploitants car ces exploitations viables sont en quelque sorte des remparts contre le malaise social grandissant en milieu rural. Ceux-ci sont aussi leur principale source de main d'œuvre et ils font partie intégrante de leur environnement socio-humain. De plus, des exploitations agricoles familiales rentables sont des sources de sécurité

alimentaire et de prix de denrées agricoles stables et abordables et donc moins de pauvreté et plus de paix sociale.

- Gouvernance des ressources naturelles (sols et eaux) : Chaque fois que le terme Eau dans le cadre d'une GIRE ou au niveau du Nexus est énoncé, on sous-entend à côté, la notion de sol qui est le réservoir dans lequel l'eau est utilisée pour produire des aliments et ensuite de l'énergie (avec les produits ou les sous-produits).
- La gouvernance de ces ressources devra forcément être sous l'égide de l'Etat ou de son administration décentralisée dans la mesure où le contrôle de l'utilisation de la ressource, la gestion des pollutions et les règles du jeu doivent être formalisées par une entité neutre et fédératrice. Mais cette gouvernance englobe aussi un volet investissements (Cf. Partie 1) pour sauvegarder la qualité et la disponibilité à moindre coût des ressources mais aussi la facilité d'aménagement et d'exploitation des terres.
- Les institutions et structures gouvernementales ou para-publiques doivent favoriser et installer le cadre réglementaire à ces approches GIRE (et Nexus) mais doivent rester le plus possible en dehors du cadre opérationnel pour ne pas entraver ou réduire la dynamique d'un acteur porteur de projet. Si tout le monde attend de l'Etat (qui n'a pas suffisamment de moyens) qu'il prenne et porte les décisions, alors il y a un risque que les acteurs majeurs restent passifs et, au final les initiatives locales vont sombrer : c'est une des leçons de l'histoire dans cette zone sahélienne.
- Ce cadre réglementaire repose sur des lois et règlements capables de s'imposer à tous et de manière équitable afin de garantir la pérennité du système. C'est un des principes énoncés par Elinor Ostrom (1992) pour la gouvernance des systèmes irrigués autogérés et durables : un système de sanctions effectives, différenciées et graduelles doit être mis en place par les usagers eux-mêmes. Ce principe s'applique autant pour la gestion de l'eau que pour la gestion de la maintenance des équipements.
- Cette gouvernance ne sera pas seulement faite de lois et de règlements mais elle devra comporter aussi un gros volet de formation et d'encadrement capable de faire comprendre à tous les règles du jeu. Cette formation sera la contribution de l'Etat pour aider à créer ce cadre opérationnel cohérent et homogène cité plus haut. Cette gouvernance devra être régulièrement financée par les taxes et impôts reçus sur les productions agricoles et agro-industrielles. Cette formation est transversale et devra aussi être un axe majeur de la GIRE afin de rendre cohérent et plausible les discussions techniques entre acteurs actuellement de niveaux très hétérogènes. Le choix de l'offre de formation devra nécessairement émaner des acteurs par un retour d'information et non proposé depuis le haut (modèle top-down) comme c'est le cas habituellement.

communs se fera par les autres acteurs selon des plannings en adéquation avec les cycles culturels. Les exploitants privés sont tenus par des journées de travail collectif ou bien le paiement d'une contrepartie pour l'entretien. A terme, une CUMA devra être mise en place afin de gérer en interne ce type d'activité sur le modèle CSS qui pourra apporter sa contribution et conseiller sur les équipements adaptés et leur modèle d'exploitation (Photo 27).



Photo 27 : Enherbement des plans d'eau (a) et (b) curage à la pelle mécanique d'un drain (CSS)

- C-Ce réseau propre sera à combiner avec la maîtrise des données hydrologiques (Photo 28) afin d'aider tous les acteurs (proches comme lointains) à disposer de repères pour la gestion des irrigations quotidiennes. La CSS compte automatiser le suivi des débits et cotes de ses canaux principaux avec un système de capteurs et sondes électronique et les données acquises pourront servir aux autres acteurs gratuitement. Ces données hydrologiques seront à coupler avec celles des services décentralisés de l'Etat (DGPRES, OLAC, SAED) et sous régionales (OMVS, AGRHYMET).



Photo 28 : Jauge limnimétrique sur le plan d'eau du lac (CSS)

Pour exemple, les données à produire devront logiquement être en phase avec les programmes et recommandations saisonnières de l'OMVS sur la base de la gestion des cotes des barrages et des lâchers pour l'hivernage 2019 (Annexe 4 CPE, OMVS, juin 2019).

- D-Ces données hydrologiques seront associées aux données climatiques et météorologiques de la CSS selon un modèle simple d’alerte SMS ou sur WhatsApp afin que chaque exploitant puisse en bénéficier gratuitement et de manière simple et automatique (Figure 33). Il faudra cependant prévoir l’installation d’une base de données des exploitants de la zone par sous-zone géographique (de la SAED) à coupler avec la base de données hydro-climatiques (de la CSS et de l’OLAC) et l’opérateur téléphonique choisi et/ou le gestionnaire du groupe de contact WhatsApp qui sera confié au conseil agricole rural (ANCAR ou SAED).

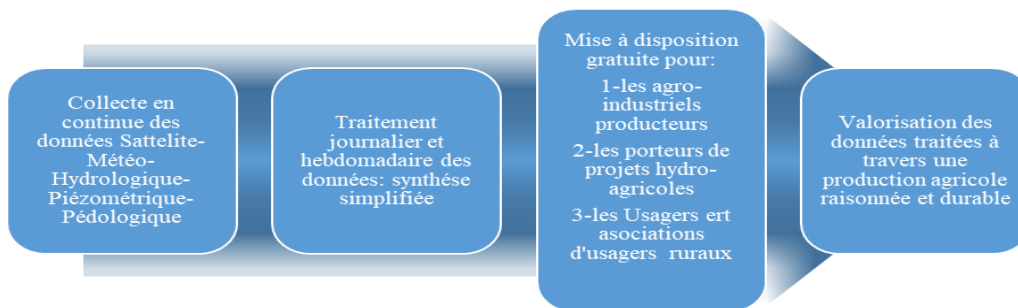


Figure 33 : Processus de valorisation des données hydro-climatiques pour tous les acteurs de la GIRE

- E-Un appui conseil supplémentaire (sous la démarche RSE) est possible et souhaitable avec des offres de formation gratuites et ponctuelles d’une vingtaine de cadres spécialisés dans tous les domaines de la production agricole irriguée afin de faciliter un transfert technologique et une mise à niveau des investissements en équipements hydro-agricoles. Ces « hommes métier » seront une innovation car dans ce type de partenariat, les réunions et actions étaient plus du ressort des DRH et des DG. Ce cadre de dialogue et d’échange (Figure 34) sera donc la résultante de cet appui conseil qui sera le lien entre la partie opérationnelle de la CSS et les acteurs terrain ruraux. Le transfert de technologie était déjà en 1980 une réalité dans la zone. La réussite relative du périmètre de Ndombo-Thiago à cette époque est reliée en partie à un transfert de technologie quotidien entre les paysans-ouvriers et la CSS à travers les plantations de canne à sucre au moins sur les aspects de conduite des irrigations (Enda, 1986). Un point déterminant pour la réussite de ce point est que la CSS a mis depuis un certain temps la priorité de recrutement de ses cadres et techniciens surtout en production hydro-agricole sur des jeunes originaires de la zone de la Vallée du fleuve.

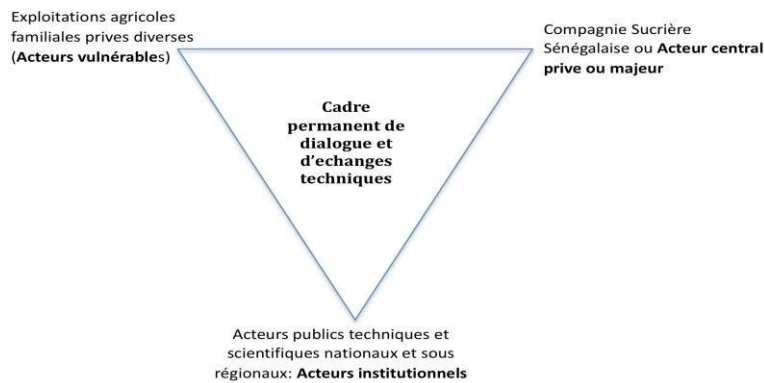


Figure 34 : Cadre d'action durable et de partenariat Privé-Privé sous l'égide de l'Etat

- F- La priorité donnée au recrutement des ouvriers agricoles aux villageois voisins de sorte à assurer des revenus supplémentaires aux populations riveraines. Ces revenus seront d'une importance capitale afin de limiter la pression sur les ressources naturelles et pour financer une partie de l'agriculture irriguée. Cette situation pourra aussi garantir la sécurité des aménagements de la CSS surtout vis-à-vis des éleveurs. Il faudra noter que ce point est déjà traité avec la création de mares villageoises sur plusieurs points afin d'aider à l'abreuvement du bétail rendu actuellement difficile à cause des multiples obstacles (parcelles de la CSS et des exploitants familiaux, endiguement et pistes le long du fleuve et du lac).
- G-La tarification et le paiement de la redevance eau reste un outil majeur de gestion qui intègre les facteurs d'équité et de durabilité de la gouvernance. En effet le financement continu de l'entretien des investissements physiques pourra difficilement se faire en dehors d'une participation régulière et équitable des acteurs. A ce niveau, le modèle de GIRE promu par la CSS est un contre-exemple (ou mauvais exemple) car les acteurs branchés sur le réseau de la CSS sont exemptés à la fois de la redevance hydraulique OMVS mais aussi des coûts réels d'entretien du réseau (station de pompage, vannes et canaux principaux d'amenée). C'est une limite à imputer au modèle actuel car un minimum de tarification est nécessaire dans une approche GIRE pour faciliter une utilisation raisonnable avec des systèmes d'irrigation économes et moins polluants. Cette situation explique en partie les dérives observées dans l'utilisation incontrôlée et extensive de la ressource en eau au-delà des limites de base des périmètres villageois.
- H- Des transferts de compétences doivent s'opérer entre les agro-industries et les producteurs ruraux. Cette possibilité existe déjà à travers les ouvriers agricoles qui, sont, le plus souvent, des exploitants individuels autour du périmètre de la CSS. Leurs pratiques en irrigation et drainage en entreprise leur est largement profitable pour pérenniser leurs parcelles adjacentes. **Il est admis qu'environ 71% des producteurs ruraux qui officient dans les périmètres irrigués de Ndombo,**

Thiago, Colonat Lougdemis et Pakh (environ 2400 ha) sont des ouvriers actuels ou retraités de la CSS (Base de données de la SAED, décembre 2020). L'offre de gouvernance de cette GIRE peut revêtir la forme d'un apprentissage structuré et organisé sur les équipements nouveaux et métiers (séminaire commun, mentorat, visites techniques...). Ce transfert de compétences se retrouve aussi à travers l'octroi aux producteurs riverains de kits de micro-irrigation « family system » par la CSS et par l'apprentissage continu des employés-producteurs dans les champs au goutte à goutte de l'entreprise. Ainsi la phase d'installation de ces kits permet aux acteurs de se familiariser avec cette pratique économe et d'acquérir un minimum de compétences nécessaires à son utilisation. Les retraités de la CSS constituent aussi une partie importante des producteurs ruraux dans les périmètres autour du casier et participent largement à ce transfert de compétences.

IV. OPERATIONNALISATION DE LA GIRE : DES OBJECTIFS AUX OUTILS ET AUX RESULTATS

La Figure 35 résume l'ensemble des liens entre les trois objectifs attendus et les outils nécessaires pour arriver à opérationnaliser l'approche GIRE. Ces trois objectifs sont :

- Amélioration de l'offre en eau globale
- Utilisation efficiente et durable de cette ressource
- Gouvernance optimale de la ressource entre acteurs

Les outils pour atteindre ces objectifs sont :

- **Les outils (a), (b) et (c)** axés sur le besoin en données cartographiques et hydrologiques et d'entretien vont aider à la réalisation de **l'objectif 1** avec une amélioration attendue de l'offre en eau globale et une mise en cohérence des besoins en eau des acteurs avec leurs systèmes de production. La productivité de l'eau agricole (unité d'eau utilisée/unité de produit agricole) devra augmenter de plus de 50% rapidement par une réduction des gaspillages, des pertes sur les réseaux et du drainage agricole incontrôlé. Elle devra aussi permettre d'améliorer l'offre globale et surtout celle pour les acteurs trop éloignés de sources d'eau de sorte à accroître l'équité en termes de disponibilité.
- **Les outils (c), (d), (e) et (g)** qui traitent des données climatiques devraient favoriser **l'objectif 2** à travers une utilisation optimale et rationnelle de la ressource en tenant compte des besoins variables liés aux changements climatiques. Les outils modernes mais accessibles et peu coûteux devraient aider les acteurs les moins puissants à disposer de la même gamme de données hydro-pédo-climatiques que les acteurs majeurs par le jeu de la solidarité inter-régionale (zone du Delta) et réduire alors le gap technologique.
- **Les outils (e), (f) et (h)**, axés sur les échanges et relations humaines devront contribuer à atteindre **l'objectif 3** et ainsi servir de catalyseur au modèle car ils

insistent sur le nécessaire contact entre acteurs de différents niveaux et contextes de sorte à favoriser en permanence le dialogue social et les relations économiques internes qui sont les moteurs d'un cadre fertile d'échanges. Tout ne sera pas basé sur la technologie et l'eau en elle-même mais aussi et surtout sur la capacité des acteurs à se parler, à échanger, à travailler ensemble.

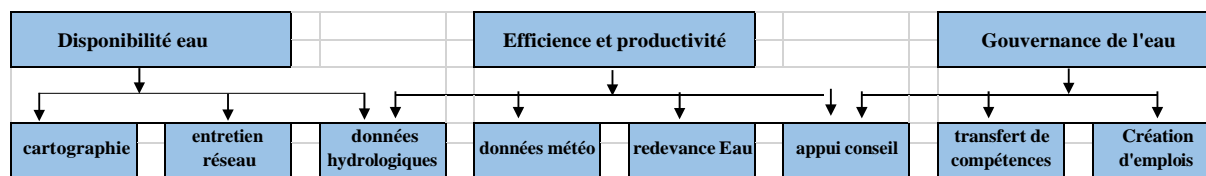


Figure 35 : Relations entre les objectifs de la GIRE et les outils pour y parvenir

La cohérence mais surtout la durabilité dans l'utilisation de tous ces outils est basée sur une approche volontaire et solidaire qui dépasse le cadre strict et formel des organisations publiques. Le raisonnement doit être sous tendu par l'idée de base que tout acteur utilisant des ressources naturelles communes (eau et sol) a besoin de son voisin pour exister durablement car il n'existe pas de frontières étanches pour ces ressources. Les rapports entre acteurs ne sont plus basés uniquement sur les échanges de données ou paquets technologiques mais plus encore sur une gestion conservatoire en commun des ressources naturelles pour le bénéfice de toute la communauté.

	Agro-industriel (CSS)	Autres producteurs (Riverains)
Actions dévolues	<ul style="list-style-type: none"> Mise en place d'un protocole annuel Pompage eau irrigation Création, entretien, remplissage et surveillance canal principal Installation vanne population 	<ul style="list-style-type: none"> Participation ou représentation à la mise en place d'un protocole Surveillance vannes populations Création, entretien canal d'amenée Retour infos sur besoins en eau et planning irrigation
Critère d'éligibilité	<ul style="list-style-type: none"> Agro-industriels disposant d'un réseau gravitaire Pour les types d'irrigation sous pression, prévoir dans le dimensionnement du réseau (goutte à goutte et aspersion) un volume de 20% en disponibilité en eau pour réseaux populations 	<ul style="list-style-type: none"> Distance maximale par rapport au canal pour garantir une charge hydraulique suffisante Surface maximale à emblavée par campagne Faire partie d'une organisation de producteurs ou être suivi par une structure publique
Obligations des acteurs	<ul style="list-style-type: none"> Respect du protocole discuté et validé Appui aux travaux d'entretien en tête de réseau Fourniture régulière d'une eau de bonne qualité pour besoins en eau des cultures définies dans le protocole 	<ul style="list-style-type: none"> Respect du protocole discuté et validé Participation aux travaux d'entretien du réseau Participation au fonds d'entretien hydraulique à hauteur de la valeur financière de l'eau reçue
Programme d'accompagnement possible	<ul style="list-style-type: none"> Emission et vulgarisation des données hydrologiques et météorologiques (gratuites). Si possible de cartes ou photos aériennes. Aide à équipement sommaire pour entretien mécanisé des ouvrages (matériel réformé) Appui scientifique et technique dans la gestion des ouvrages (bénévolat cadres) 	<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre les branchements sauvages sources de fuites et de cassures sur réseau Contrôle du déplacement du bétail pour aider à la protection des ouvrages et des champs (de tout le monde) Auto contrôle et gestion centralisée des pratiques d'irrigation

Tableau 35 : Synthèse des actions et procédures dévolues au modèle

Nous avons listé dans le tableau 35 ci-dessus l'ensemble des conditions de mise en œuvre et de fonctionnement qui pourront garantir la durabilité et l'équité dans le processus d'opérationnalisation de cette GIRE à l'échelle du canal. Ces données ont été recueillies auprès de tous les acteurs de la GIRE à travers nos multiples discussions et synthétisées. Elles constituent une première proposition à valider.

Les premiers résultats issus des phases test qu'on pourra mieux appréhender à travers l'approche Nexus dans la même zone, dégagent des gains intéressants qui méritent une étude approfondie, une formalisation structurée afin d'arriver à des propositions concrètes de corrections des approches utilisées.

La partie la plus importante de l'opérationnalisation réside dans la **Gouvernance** de la GIRE. Les interrelations entre les différents outils cités plus haut doivent guider et orienter cette gouvernance sous le contrôle d'un troisième acteur : l'Etat ou les acteurs institutionnels. Cette collaboration devra être multiforme, souple, éthique et porteuse de croissance. Elle peut porter sur le lien entre ces deux acteurs majeurs de la GIRE et toutes les autres institutions liées à l'Etat dans cette zone (Universités, ISEP, SAED, OMVS, OLAC, Maires, CR...). Régulièrement les acteurs majeurs devront solliciter ensemble l'expertise ou la coopération des acteurs institutionnels afin de rendre dynamique et intégrée la gestion de l'eau agricole.

Exemple 1 : les partenariats actuellement noués entre les agro-industries et les Universités et ISEP devraient pouvoir profiter aux autres producteurs ruraux et améliorer leur niveau technique.

Exemple 2 : la collaboration entre les acteurs ruraux et les organismes d'encadrement et d'appui (SAED, OLAC, OMVS) doit faciliter le lien entre ces derniers et les agro-industries et pousser à la mise en place de projets adaptés aux besoins communs liés à la GIRE

Exemple 3 : Les leaders des acteurs ruraux sont aussi les responsables de Mairies et CR et donc les mandataires locaux de l'Etat sur les questions foncières. Une coopération de tous ces acteurs sur la gouvernance des eaux et sols est plus que nécessaire pour la durabilité de l'écosystème. Les recommandations nationales de gestion du foncier devront être adaptées dans le contexte de la zone et favoriser un partage équitable des ressources.

Cette gouvernance peut être visualisée à travers les rapports concrets entre la CSS et les périmètres voisins à chaque démarrage de campagne rizicole :

- ✓ Les responsables villageois demandent à la SAED d'évaluer les surfaces aménagées et à cultiver et les dates optimales de démarrage de la campagne, en tenant compte de la disponibilité des intrants
- ✓ Ces responsables s'associent à la SAED pour présenter à la CSS les besoins en eau et en travaux d'urgence requis.
- ✓ La CSS qui pompe l'eau, reçoit et traite toutes ces demandes en tenant compte de l'offre globale possible en eau et des besoins de ses cultures. Elle évalue donc les créneaux optimaux pour tous les acteurs et suggère donc un calendrier global d'irrigation.

- ✓ Une réunion rassemble les acteurs afin de décider des horaires d'utilisation du canal principal : en général en continu pour tous les acteurs (aucune restriction) et le soir et les week end pour les paysans en cas de déficit sur le canal.
- ✓ La CSS participe à l'entretien des canaux principaux des populations afin de garantir une utilisation rationnelle et efficiente de l'eau vers eux, les populations ont en charge l'entretien des canaux parcelaires.
- ✓ Un suivi régulier tout au long de la campagne se fait entre le chef de ferme de la CSS, le responsable de la section villageoise, le gestionnaire de la vanne et l'agent de la SAED. Ce suivi souple ne requiert plus de réunions systématiques mais des appels téléphoniques et SMS en cas de besoins urgents.

Ce schéma est également utilisé pour la gestion quotidienne du partenariat avec les groupes d'éleveurs et de pisciculteurs.

V. HYPOTHESES ET SCENARII POSSIBLES A COURT ET MOYEN TERMES A TRAVERS CETTE APPROCHE

Plusieurs scénarii plausibles alimentés par des hypothèses et des observations quotidiennes sont possibles selon :

- (i) Le degré de prise en compte, dans les modèles de production et de développement, des approches citées.
- (ii) Le niveau d'investissements et de renforcement des capacités pour accompagner ces changements.

Ainsi, en croisant les hypothèses d'investissement discutés dans la première partie et présentés dans la deuxième partie et les celles en termes de GIRE, nous pouvons construire 3 scénarii :

- A. Scénario idéal : Il y a une adoption des approches GIRE et Nexus et opérationnalisation réussie dans le Delta, accompagnées par des investissements suffisants et ciblés et une forte capacité de renforcement des capacités. Ceci permet une croissance durable et soutenue chez tous les acteurs.
- B. Scénario stationnaire : Il y a une adoption des approches proposées mais une faible mise en œuvre et opérationnalisation à cause d'investissements insuffisants et d'un manque récurrent de renforcement des capacités (surtout envers les acteurs vulnérables). Il n'y a donc pas ou peu de croissance des acteurs qui restent fragiles. La croissance des acteurs majeurs autonome est faible.
- C. Scénario catastrophique : Il n'y a pas d'adoption des approches proposées, les investissements sont faibles, insuffisants ou dispersés, sans réelle politique de renforcement des capacités. La conséquence est une absence de croissance, un accroissement de la pauvreté des petits producteurs et une vulnérabilité des acteurs majeurs qui seront soumis à des pressions multiples (durabilité menacée).

Il est évident que les changements de paradigme proposés ne peuvent pas être rapides en zone rurale sahéenne. Mais ils sont une nécessité pour enclencher un développement durable. Le **scénario A** reste un idéal qui, malheureusement, a peu de chance de se réaliser dans les 10 prochaines années, dans la mesure où les actions devant l'accompagner devraient être prises

dès maintenant, ce qui n'est pas le cas. Le **scénario C** affiche une situation catastrophique inacceptable car tous les acteurs seraient perdants et les résultats socio-économiques attendus des investissements déjà engagés seraient anéantis. Le **scénario B** est la situation tendancielle et donc celui qui a, actuellement, le plus de chances de se réaliser.

Ce constat pousse à promouvoir le choix par les acteurs leaders (agro-industries et grandes exploitations) de devenir rapidement les pivots et les précurseurs des modèles de développement agricole intégré et coopératif afin d'arriver à un compromis positif à mi-chemin entre les scénarii A et B.

Conclusion

Cette GIRE proposée dépasse le cadre strict de l'irrigation et de la gestion de l'eau. Cette approche est cependant nécessaire pour cerner le problème lié à l'eau agricole dans cette zone et asseoir un modèle de partenariat qui puisse durablement répondre aux multiples problématiques connexes. Ce modèle se veut simple mais robuste, inclusif et durable, rentable et économe en ressource. Il privilégie les rapports directs entre hommes de terrain et la recherche toujours renouvelée d'une meilleure efficacité hydraulique et agricole de l'eau disponible. Sa réussite pourrait largement contribuer à rehausser l'image un peu ternie des agro-industriels dans cette zone. L'approche GIRE pourrait être rendue obligatoire lors de toute nouvelle installation : une logique de collaboration obligatoire dans le cadre d'une production agricole durable et sécuritaire.

Ce modèle de GIRE est largement financé par les ressources allouées dans les entreprises à la RSE (Responsabilité Sociétale d'Entreprise) et donc valable dans un certain contexte socio-économique. Il requiert un acteur majeur qui devra forcément avoir une orientation fédératrice et inclusive mais qui devra aussi accepter de « faire vivre le modèle » sans forcément attendre des retombées financières automatiques mais plutôt des gains sociaux et environnementaux qui sont largement aussi rentables surtout en termes de durabilité. La tendance actuelle d'installation à profusion d'entreprises agro-industrielles et de PME semi-industrielles milite en sa faveur. Au-delà de la « jurisprudence » qu'il pourrait représenter, il pourrait faciliter l'intégration des investisseurs privés étrangers et nationaux dans les communautés locales et asseoir un développement global, harmonieux, équitable et durable.

Mais la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) via le Nexus Eau/Aliment/Energie, reste complexe à mettre en œuvre. Les systèmes de production agricole traditionnels extensifs ne paraissent pas encore tout à fait prêts à adopter de façon uniforme et intégrale cette approche innovante. Pourtant ce sont eux qui en ont le plus besoin pour se moderniser de façon durable. Il faudrait donc, dans un premier temps, que les agents de développement et d'appui à la production de ces petits agriculteurs adoptent eux d'abord une approche GIRE et renforcent leur capacité de formation en y intégrant l'approche Nexus eau/aliment/énergie. Puis, ils pourront transférer plus efficacement leurs discours vers les acteurs ruraux. Cela permettrait de réduire l'écart entre ces derniers et les agro-industries et de les rendre moins vulnérables face aux changements climatiques en cours.

Les larges possibilités en productions alimentaires (céréales, cultures industrielles, horticultures), énergétiques (biomasse issue de la canne à sucre, typha récolté, énergie solaire)

et en eau potable sont encore sous exploitées. Les productions agricoles intensives et industrielles sont consommatrices d'eau comme le cas de la canne à sucre à la CSS et du riz. Mais le potentiel disponible en eau agricole non utilisé est énorme et ne constitue pas pour le moment une contrainte. Il n'en est pas de même de sa disponibilité physique surtout pour les petits producteurs freinés par des barrières physiques (végétaux aquatiques), économiques (coûts de pompage) et techniques (gestion des équipements).

Le modèle conceptuel présenté ci-dessus pourrait rapidement aider les acteurs de la zone à optimiser l'utilisation des ressources. Les scénarii développés sont des suppositions théoriques à base d'hypothèses que nous devons affiner pour les valider dans le court et moyen terme. Malgré la diversité et l'hétérogénéité de ces acteurs, une synergie est à trouver pour que le cadre d'action soit unique et les résultats attendus profitables à tout le monde. Par exemple les sous-produits des acteurs industriels ou agro-industriels doivent pouvoir profiter aux filières énergétiques des acteurs ruraux et les acteurs ruraux doivent pouvoir parvenir à une utilisation efficiente des ressources en eaux mises à leur disposition. Ces inter-relations doivent, à terme, installer une coopération productive et durable entre acteurs autour des ressources en eaux et favoriser une meilleure sécurité alimentaire et énergétique.

CHAPITRE 10 :

Approche complémentaire obligatoire à la GIRE : élaboration d'une stratégie de renforcement de capacités à l'intention des acteurs du secteur de l'eau agricole dans le Delta

La pérennité de l'agriculture irriguée et donc sa durabilité sont menacées par l'insuffisance de moyens financiers et humains consacrés à l'utilisation, à l'entretien et au renouvellement des équipements partout dans la Vallée. Elle ne sera pas facile à résoudre compte tenu de nombreuses mauvaises habitudes de gestion et de la conjonction de contraintes diverses qui s'appliquent sur une grande partie des périmètres irrigués (insuffisance des profits, faiblesse de la productivité...)

Moins spectaculaire et moins visible que les investissements en dur, la formation/sensibilisation est la seule action à même de donner aux producteurs qui le veulent vraiment les moyens de se professionnaliser et de mener une agriculture irriguée durable et performante (Fraval, 2002). Notre Scénario B devra reposer fortement sur une politique de formation continue et de renforcement des capacités de tous les acteurs pour atténuer les déficits observés.

L'approche d'évaluation et dynamique de la gestion du personnel est un indicateur d'évaluation des compétences qui revient dans le questionnaire FAO de Burt et Styles (1999) et qui se révèle un critère majeur dans le diagnostic rapide de périmètres irrigués. Une autre approche issue des travaux de Le Boterf (Ingénierie et évaluation des compétences, 2011) revient sur une logique objective d'évaluation des compétences : savoir et savoir-faire du personnel gestionnaire des périmètres irrigués.

L'objectif est d'arriver à une méthodologie qui puisse, à partir de la synthèse des besoins globaux en termes de renforcement des capacités à l'attention des acteurs GIRE dans les métiers liés à l'eau agricole, arriver à trouver un modèle durable de formation et de renforcement des capacités pour une meilleure efficacité de l'utilisation de cette eau. Mais le renforcement suppose, avant tout, une connaissance des déficits et insuffisances des acteurs concernés. D'où la nécessité d'une évaluation des compétences et capacités de ces acteurs.

Les enjeux d'une proposition d'évaluation des compétences dans le domaine de l'irrigation/drainage sont de 3 ordres :

- Enjeu professionnel : assurer l'amélioration continue des pratiques d'irrigation ;
- Enjeu de management : assurer le pilotage de la gestion des ressources humaines et des compétences au niveau des unités agricoles irriguées concernées ;
- Enjeu social : fiabilité aux compétences individuelles (savoir-faire) et collectives de l'organisation chargée de la gestion des irrigations.

Cette logique nécessite une politique et des dispositifs d'évaluation qui pourront expliciter les enjeux et la prise en compte de leurs conséquences auprès des acteurs concernés : agents d'entreprises, producteurs autonomes, techniciens en phase d'installation...La compétence à évaluer correspond à un savoir. Elle consiste en théorie à l'application d'une procédure détaillée

(souvent une technique). Ceci rapproche l'évaluation à un « contrôle ». Au niveau pratique, les objets de l'évaluation sont multiples :

- Savoir- faire : exécution correcte et répétée d'opérations prescrites ou de consignes détaillées
- Pratiques professionnelles (savoir agir) : capacités d'initiative, surtout en situations imprévisibles ou complexes
- Résultats concrets : performances mesurables des actions menées sur un pas de temps défini.

De nombreuses études et organismes nationaux et internationaux (Etude UE/Sénégal, projet NEPAD et des centres d'excellence de l'eau CEDEAO...) ont identifié au Sénégal un déficit réel en formation intermédiaire dans le domaine de l'eau surtout au niveau techniciens et techniciens supérieurs afin d'aider à atteindre les objectifs d'une agriculture irriguée productiviste et rentable. Il est admis que ce secteur économique devra être de plus en plus efficient dans les années à venir afin de concilier baisse des ressources en eau, croissance de la population et augmentation de la production. La problématique de base est d'arriver à évaluer l'ensemble des besoins et de formaliser des scénarii qui pourraient aider à résorber ce déficit rapidement. Plusieurs organismes ont travaillé ces 40 dernières années sur le renforcement des capacités du personnel technique encadrant dans le Delta pour des résultats parfois visibles, parfois mitigés. Comme exemple, nous avons eu l'appui des agents de la JICA à travers la coopération JICA/SAED (années 1990) et la réalisation d'aménagements avec de hauts standards techniques (canaux bétonnés). Actuellement, tous les projets majeurs en cours dans le Delta financés par la BM (PDIDAS) ou l'USAID (MCA, 3PRD) ont travaillé ou travaillent avec un volet formation des acteurs. Le centre de recherche inter-régional Africa Rice a ouvert depuis 2018 un centre de formation dédié à la formation sur la filière rizicole à côté de ses stations expérimentales.

Une étude conjointe en 2018 entre le CIRAD et le MAER/Sénégal recommande l'institutionnalisation du renforcement des capacités des acteurs (PARM, 2018).

C'est un des trois outils proposés par le PARM (Platform for Agricultural Risk Management) en réponse aux risques majeurs identifiés pour l'agriculture au Sénégal.

Nous avons mené en 2017, un travail qui a requis une enquête minutieuse auprès des principaux acteurs privés de la zone cible prioritaire (Delta de Fleuve Sénégal) que sont les entreprises agro-industrielles et les exploitations agricoles semi-industrielles. Un questionnaire a été élaboré (Annexe 6), testé au niveau de la principale structure la CSS et administré aux autres agro-industriels afin de recueillir les données nécessaires à cette approche. Au niveau des autres acteurs et producteurs non formels, nous avons eu des discussions sectorielles régulières avant les campagnes agricoles ou lors de réunions à la CSS. Ce choix découle du fait que le questionnaire est nettement plus adapté aux structures formelles et que les décisions qui en découleront vont bénéficier à tous les acteurs identifiés qui ont les mêmes besoins techniques. De plus nous avons revisité ce travail avec le projet d'installation de l'ISEP de Richard Toll. L'exercice a duré environ 1 an et a regroupé tous les acteurs de l'écosystème agricole du Delta. Les conclusions qui se rapprochent fortement des propositions émises dans ce travail (Annexe 7).

Une partie de nos propositions reprises ici ont été émises lors de l'élaboration du document cadre « Etude prospective en soutien à la programmation européenne conjointe Union européenne/ Etat du Sénégal » de juin 2016 auquel nous avons participé.

I. UN PROCESSUS INTEGRATEUR ET INCLUSIF

Le renforcement des capacités de techniciens et des producteurs autonomes dans le domaine de l'eau agricole induit d'abord une capacité d'organisation et d'investissement certaine dans :

- La mise en place de réformes de base surtout foncières pour aider améliorer l'environnement juridique et organisationnel de la production agricole irriguée et inciter à l'investissement
- L'investissement et l'acquisition d'équipements hydro-agricoles et hydro-météorologiques modernes pour lesquels ils seront formés
- Le recrutement et/ou la formation continue du personnel ou des producteurs indépendants aptes à prendre en charge ces équipements en termes de fonctionnement, de réglage, d'entretien, de maintenance.

Etape 1 : Sécurisation et maîtrise de l'offre foncière

Un audit du foncier rural national et une réforme de la Loi sur le Domaine National est actuellement en cours de finalisation pour faire jouer à la terre son rôle de principal facteur de production agricole en promouvant l'accueil d'investisseurs privés. Ceci pourra fortement motiver les entrepreneurs agricoles à investir sur leur propre formation et/ou le recrutement de techniciens déjà formés et le renforcement de leurs capacités en cours de cursus professionnel.

La sécurisation foncière et la modernisation des exploitations familiales avec un meilleur accès au foncier et l'implication de l'agrobusiness dans l'agriculture irriguée est nécessaire pour favoriser un accroissement de la production agricole et de la sécurité alimentaire, la création d'emplois, la diffusion de leurs techniques et méthodes dans les exploitations familiales environnantes premier niveau de renforcement des capacités à l'échelle locale.

La mise en place d'un cadre de concertation et d'harmonisation des interventions dans le domaine de l'irrigation est souhaitée, soutenue par une stratégie commune et globale de développement des cultures irriguées intégrant la GIRE (drainage et qualité des eaux, questions environnementales, pastoralisme, et donc aussi la formation continue du personnel...).

Etape 2 : L'acquisition d'équipements adaptés et durables

L'investissement physique et l'acquisition de ces équipements impliquent :

- La disponibilité sur place (niveau national ou sous régional) de structures (entreprises, succursales, représentants) capables de fournir rapidement et à des coûts raisonnables un matériel hydro-agricole, météorologique, électronique ou électromécanique adapté à nos climats difficiles et à nos systèmes de production, faciles d'utilisation et de maintenance.
- L'existence de filières et de modalités d'acquisition souples et performantes aptes à prendre en charge les besoins de chaque exploitant hydro-agricole de sorte à aider au financement de la modernisation des outils de travail. Les banques et sociétés

d'assurance rurales doivent avoir en face d'eux une autorité compétente ou des structures publiques partenaires (FONSIS, FONGIP, APIX (Agence pour la Promotion des Investissement et des Grands Travaux), DER (Délégation de l'Entreprenariat Rapide)), des partenaires au développement opérationnels et des acteurs ruraux organisés et professionnels.

- Une structure technique publique ou privée capable d'aider les exploitants à investir judicieusement par un cadrage net de leur besoin en termes d'équipements et par l'aide à la mutualisation de certains équipements lourds et onéreux pour nos exploitations agricoles rurales.

Étape 3 : Evaluation et formation continue d'acteurs aptes à gérer le matériel agricole acquis

Le recrutement de techniciens déjà formés ou la formation continue des exploitants privés et de leur personnel devront se faire sur la base des points suivants :

- Evaluation des besoins spécifiques et généraux des exploitations hydro-agricoles en termes de déficit numérique en personnel formé (ouvriers qualifiés, conducteurs, opérateurs, techniciens, cadres) lié aux métiers de l'eau agricole ;
- Evaluation du niveau et des potentiels technique et scientifique du personnel actuel existant ;
- Evaluation du déficit en formation interne et externe en lien avec les équipements hydro-agricoles déjà acquis ou en voie d'acquisition et les objectifs de production (différents selon l'intensité du système) ;
- Estimation des coûts de formation individuelle (pour chaque corps de métier ou niveau de formation), des coûts de formation par structure et des coûts globaux annuels nationaux (interne et externe) ;
- Validation du modèle de prise en charge de la formation suivant l'opportunité économique calculé et l'impact professionnel escompté.

Ces 3 étapes de base ont rarement été respectées dans le Delta et les conséquences actuelles visibles sont un déphasage ou une insuffisance entre les besoins en équipements et en techniciens formés et l'existant. L'approche de formation agricole (et/ou en agroéquipement) au Sénégal a suivi ce décalage et s'est éloigné de notre modèle agricole avec un déficit énorme en techniciens agricoles performants et capables de manipuler des outils de production modernes.

II. PROPOSITION D'UN MODELE DE RENFORCEMENT DES COMPETENCES ET DE STRUCTURE DE FORMATIONS

- **Option A : centre de formation nationale dédié aux métiers de l'eau agricole**
- Création d'un centre (entre Saint Louis et Dagana de préférence)
- Dotation en matériels et formateurs

- Coût individuel et par type de formation
- Nombre de personnes à former/an
- Coût annuel de la formation aux métiers de l'eau agricole

Ce scénario est actuellement enclenché avec la mise en place de l'ISEP (Institut Supérieur d'Enseignement Professionnel) de Richard Toll. Il va former des techniciens supérieurs aux métiers liés à l'Agriculture moderne dont l'irrigation et la gestion de l'eau. L'innovation réside sur les approches compétences et métiers dans le cadre de l'élaboration de ses curricula et la forte implication des acteurs professionnels de toute la zone. Les métiers ciblés répondent tous aux besoins identifiés pour une bonne mise en œuvre de la GIRE aussi bien du côté des agro-industriels que des producteurs ruraux.

L'approche par compétences promue par l'ISEP, au-delà des diplômés formés, s'adresse à tous les autres producteurs agricoles de la zone du Delta dans le cadre d'une mission d'appui au développement des compétences des populations locales. Elle se propose à terme d'offrir plusieurs sessions gratuites de renforcement de capacités au profit des femmes et de la zone. Les modules concernés sont : la production horticole, la transformation laitière, la transformation de fruits et légumes, l'entrepreneuriat, le pompage solaire

L'offre de techniciens supérieurs de cet ISEP sera complétée par un regain dans la formation professionnelle de base (Centre de formation de Saint Louis et Richard Toll) à travers des collaborations en cours de cadrage avec les agro-industries. A terme, ce sont 5000 Techniciens supérieurs qui seront en formation sur 3 ans à l'ISEP de Richard Toll (Anonyme, 2019).

- **Option B : formation en interne (structure de production) avec mission expertise d'un cabinet sélectionné**
- Coût individuel de la formation
- Demande de formation annuelle par structure
- Demande de subvention (Etat, bailleurs, projet...)
- Evaluation du coût annuel par structure
- Evaluation du coût global annuel national

Ce scénario se trouve intégrer dans la nouvelle approche promue par le Ministère de la Formation Professionnelle, à savoir le programme de formation Ecole-Entreprise (PF2E) qui veut créer des « entreprises formatrices » (Anonyme, 2019) et le Programme de l'Amélioration de la Qualité, de l'Equité et de la Transparence (PAQUET 2013-2025) qui est le socle de la politique nationale en matière d'éducation et de formation. Elle vise à mettre en adéquation la formation et les besoins de l'Entreprise avec un temps d'environ 80% dédié à l'apprentissage pratique en entreprise et le reste du temps à la formation théorique dans un établissement de formation professionnelle. C'est un projet phare qui peut fortement améliorer le niveau de base des futurs praticiens en gestion de l'eau avec l'aide financier de l'Etat. Ce sont 25 000 jeunes de 16 ans et plus qui seront encadrés par 3 000 tuteurs dans 1500 entreprises ou structures de production sur environ 50 métiers identifiés dans la zone.

- **Option C : Formation externe nationale dans les écoles de formation traditionnelle**
- Evaluation spécifique de chaque besoin exprimé
- Orientation du projet de formation vers la structure appropriée
- Création d'un module, cours ou programme en relation avec le projet
- Evaluation du financement de cette formation avec l'école
- Financement ou subvention vers cette école pour prise en charge de cette demande

La formation actuelle en vigueur dans les instituts de formation nationaux (ENSA, ISFAR, Lycées Agricoles, CFPH, CNFPRT) a déjà fait ses preuves et va continuer d'exister pour former des ingénieurs et des ingénieurs des travaux mais aussi les techniciens agricoles et horticoles. Chaque année environ 200 Ingénieurs, Ingénieurs des Travaux et Techniciens agricoles et horticoles sortent de ces structures. Ce nombre paraît trop faible au regard des immenses besoins du monde rural sénégalais. Pourtant, ce sont actuellement les piliers de l'encadrement du monde rural et les techniciens des entreprises agro-industriels de la zone. Cette offre traditionnelle de techniciens est complétée actuellement par celle en provenance des Universités (Master professionnel) qui essaye de s'imposer difficilement dans le paysage agro-industriel. Il leur est reproché une formation trop théorique et orientée plutôt vers la recherche. L'approche proposée est d'améliorer le niveau des formateurs par l'octroi de bourses d'excellence, de favoriser l'intégration des professionnels (et de leur cadre de travail) dans les formations et de relever le niveau des équipements disponibles dans ces Instituts.

III-SYNTHESE DES DONNEES ISSUES DU QUESTIONNAIRE PROPOSE

L'identification des sujets d'études, des problèmes à solutionner et donc des formations à dérouler se fera en continu mais d'ores et déjà nous pouvons retenir les résultats synthétisés au Tableau 36.

Tableau 36 : Synthèse des formations de base identifiées pour la production irriguée

Gestion globale des périmètres irrigués	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pilotage station de pompage d'irrigation ▪ Pilotage station de pompage de drainage ▪ Maintenance et réparation station de pompage (mécanique, électricité, électromécanique, informatique...) ▪ Suivi et pilotage des stations météo (manuel ou automatique) ▪ Technicien maintenance station météo ▪ Suivi du réseau principal et gestion des ouvrages vannés ▪ Entretien du réseau d'irrigation ou de drainage (curage, reprofilage) ▪ Conducteur des engins d'entretien : pelles, faucardeurs, barques... ▪ Installation et suivi de piézomètres pour suivi de la nappe phréatique ▪ Conducteur appareil installation et entretien des drains enterrés ▪ Pilotage des logiciels d'irrigation (ex : AquaCrop, Cropwat, Drainmod ...)
Gestion spécifique des parcelles agricoles	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chef de chantier irrigation (organisation des chantiers d'irrigation...) ▪ Formation aux métiers de base en irrigation (aiguadiers, irrigateurs, opérateurs...) ▪ Conducteur de pivot, rampes mobiles, station de pilotage goutte à goutte, tuyaux souples, ... ▪ Opérateur de la fertigation (fertilisation automatique) des cultures irriguées ▪ Mécanicien maintenance des appareils d'irrigation ▪ Electromécanicien et électriciens en pompe d'irrigation ▪ Opérateur prélèvement échantillon eau (irrigation, drainage, piézomètre...) ▪ Management des techniciens agricoles en irrigation ▪ Management des ouvriers agricoles en irrigation ▪ Chauffeur spécialisé périmètre irrigué
Gestion des aspects environnementaux de l'irrigation/drainage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analyste et suivi eau prélevé (chimique, microbiologie, physique...) ▪ Qualité et Hygiène en irrigation (EPI, procédures et normes) ▪ Gestion des eaux usées agricoles (traitement, réutilisation, lagunage...) ▪ Gestion des déchets solides issus de l'irrigation/drainage

Les métiers soulignés si dessus renferment globalement les compétences de base pour pratiquer correctement une agriculture irriguée intégrée où toutes les dimensions (technique, sociale, environnementale, économique) sont prises en compte. Qu'il s'agisse de renforcement de capacités en formation continue ou de formation initiale post bac diplômante de techniciens modernes, la règle de base voudra que les acteurs au final puisse parler le même langage technique et pouvoir ainsi coordonner de manière équitable les échanges et solutions techniques proposées. Cette liste ci-dessus n'est pas exhaustive et l'approche de renforcement des compétences requiert une mise à jour perpétuelle pour rester en phase avec l'innovation technologique et les besoins continus aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif.

Conclusion partielle

Cette approche nous a permis d'identifier environ une trentaine de métiers de base actuels et du futur qu'il nous faudra obligatoirement installer dans la zone. Le déficit en formation et en compétences dans ces domaines est le véritable frein à la mise en place de systèmes de production à la fois durable et moderne. L'écart est trop important avec les standards internationaux pour pouvoir sauter cette étape cruciale de notre agriculture irriguée. L'approche

GIRE proposée ne pourra pas durer si nous n’y arrivons pas et les acteurs chargés de mener à bien cette mutation technique et sociale en seront les premiers à en souffrir.

Une des solutions envisagées est celle visant à renforcer l’intégration agriculture industrielle/agriculture paysanne à travers l’emploi salarié agricole en complément des propres activités agricoles de l’acteur rural. C’est une stratégie visant à favoriser d’une part l’autoconsommation d’une partie ou de toute la production agricole de l’acteur (car le salaire pourra aider à satisfaire les autres besoins du ménage) dans le Delta contrairement à la moyenne et haute Vallée où, comme le souligne Lavigne Delville, cette offre est du ressort des envois monétaires des immigrés. Mais surtout, elle favorise le transfert de technologie et de connaissances de la parcelle agro-industrielle vers la parcelle paysanne ce qui constitue un terrain de formation continue. L’entreprise agricole pourra alors servir de centre de formation continue à l’acteur rural et ainsi aider à équilibrer les aptitudes et connaissances liées aux nouvelles technologies et innovations scientifiques.

Cette approche est largement proposée dans les projets promus par la BAD et la Banque Mondiale (PDIDAS) et vise dans ses nouvelles orientations à promouvoir une forte synergie entre « l’agrobusiness » et l’agriculture familiale à travers une meilleure organisation/structuration et le renforcement des capacités des petits producteurs agricoles autour de gros opérateurs modernes et agro-industriels. Il s’agira de créer les conditions favorables à la création et la gestion d’entreprises d’agricoles performantes, de mettre à la disposition des acteurs, des fermes agricoles avec des moyens adéquats et de renforcer leurs compétences à travers des formations techniques et professionnelles adaptées. Ainsi, à court et moyen terme et grâce à ces approches novatrices, l’augmentation de la production et de la productivité agricole, va s’accompagner de la création d’emplois agricoles (y compris de type nouveau énoncé dans la liste ci-dessus) au profit, en priorité, des enfants scolarisés ou très tôt déscolarisés dans ces milieux ruraux.

Enfin la mise en place en cours de l’ISEP (Institut Supérieur d’Enseignement Professionnel) et celui des PF2E (Programme de Formation Ecole-Entreprise) au cœur de la zone d’étude et le démarrage prochain de leurs activités directement en relations avec tous les Acteurs de la GIRE seront un atout essentiel pour mettre en pratique toutes les propositions émises et faciliter grandement la résorption des déficits observés.

CONCLUSION GENERALE

Les acteurs ruraux, agricoles et agro-industriels dans le Delta du Fleuve Sénégal, une zone humide dans une région désertique, disposent d'importantes ressources en eau de qualité et en sols sans pour autant parvenir pour le moment à une valorisation suffisante et une gestion efficiente. Dans le contexte actuel de changement climatique à la fois global et local avec un fort accroissement de la population, il est bien-sûr difficile de prévoir l'avenir, en particulier dans le Delta du fleuve Sénégal. Le milieu y est en effet à la fois riche en potentiel de développement agricole, mais aussi fragile, à la frontière de zones très pauvres et déjà semi-désertiques.

Les raisons discutées tout au long de ce travail de dissertation renvoient régulièrement vers son histoire tumultueuse, les contraintes physiques, les approches incohérentes de gestion locale et/ou nationale et les modèles de production hydro-agricoles discutables ou mal planifiés.

Les incohérences techniques, les insuffisances managériales, une certaine forme de mal gouvernance omniprésente et des options tronquées en termes de politique agricole dans cette zone ont fini par jeter les bases d'un semi-échec qu'il faut analyser sous plusieurs angles.

Cette thèse s'est appesantie à identifier les déficits et limites physiques et environnementales qui datent de plusieurs siècles pour ensuite proposer des modèles d'investissements structurés autour de la gestion intégrée des ressources en eaux et en sols de cette zone. Ces choix, à la fois politiques, économiques, techniques et sociaux, doivent jeter les bases d'une meilleure gouvernance de ces ressources naturelles et d'une valorisation optimale qui tiennent compte des multiples besoins des acteurs ruraux les plus vulnérables. Deux questions non résolues subsistent et doivent trouver des réponses acceptables et applicables :

-la gestion du foncier rural, facteur de discorde, de tensions et véritable frein à l'investissement privé hydro-agricole ;

-la mise à niveau de l'équipement agricole et rural apte à prendre en charge les mutations technologiques et scientifiques de l'agriculture irriguée moderne.

Au-delà des performances de gestion à améliorer partout, les agro-industries en plein essor et correctement équipées, structurées comme des entreprises modernes sur des filières relativement maîtrisées, peuvent servir d'appui en termes d'investissements structurants partagés, de cadre recherche/développement et de vulgarisation mais surtout d'acteurs leaders porteurs d'innovations technologiques et promoteurs d'un modèle opérationnel de GIRE.

La principale contrainte physique identifiée, la salinité des sols et des nappes, a fait l'objet d'études poussées au sein de la CSS, acteur agro-industriel majeur, avec des résultats probants que peuvent et doivent partager tous les acteurs concernés afin de corriger rapidement les dysfonctionnements constatés. Les modèles de lessivage et de récupération des sols salés et de lutte contre les nappes salées pourraient bien être vulgarisés un peu partout dans cette zone et aider à lutter contre la salinité omniprésente et les abandons de surfaces agricoles. Ils requièrent cependant des investissements lourds que les acteurs institutionnels et privés doivent partager

et encadrer dans un schéma cohérent et rentable. Des modèles et des logiciels gratuits existent et peuvent largement aider à optimiser ces pratiques agricoles au profit de tous les acteurs (AquaCrop, Drainmod). Une piste d'étude porteuse serait d'arriver à combiner les résultats de simulation et calibration de ces deux modèles sur les terres agricoles salées de Delta afin d'optimiser les futurs investissements hydro-agricoles.

Une large utilisation de ces modèles d'irrigation/drainage, qui tiennent compte du besoin d'économie de la ressource et de réduction des externalités négatives (drainage agricole, efficacité) pourrait profiter aux acteurs à condition de réussir la mise à niveau de ces derniers par le renforcement des compétences mais surtout la vulgarisation et le partage des données hydro-pédo-climatiques disponibles dans cette zone. Ce processus intégrateur entre modèles traditionnels extensifs et modèles intensifs à haute valeur ajoutée pourrait voir le jour dans le cadre dynamique et gagnant-gagnant d'une Gestion Intégrée des Ressources en Eau à l'échelle des bassins versants des canaux principaux et des ouvrages hydrauliques majeurs. Cette échelle de gestion réduite, relativement pertinente pour une opérationnalisation de cette GIRE, pourrait convenir mieux à ces modèles agro-socio-économiques que celui des bassins versants communaux ou sous régionaux proposés dans les modèles GIRE promus actuellement au Sénégal à travers le PGIRE. Si la mise en œuvre de cette approche ne peut se réaliser, cela risque d'aboutir à une forte vulnérabilité des petits agriculteurs mais aussi des agro-industriels. Ces derniers, pourtant mieux armés techniquement, seraient soumis à des contraintes sociales et environnementales menaçant la durabilité de leurs modèles de production. La principale clé de cette GIRE sera la qualité de la gouvernance qui sera axée sur un partenariat privé-privé et un cadre de concertation permanent et constructif entre tous les acteurs. Ce cadre dynamique entre acteurs agricoles au sens large se ferait sous le contrôle régulier des structures institutionnelles de la zone (SAED, OLAC, OMVS) qui eux aussi œuvrent pour asseoir des cadres de partenariat avec tous ces acteurs.

Cette GIRE sera utilisée comme une porte d'entrée pour faciliter la transformation structurelle de l'agriculture irriguée du Delta à travers un partenariat cohérent et la promotion de nouveaux modèles de production axés sur le Nexus Eau/Aliment/Energie. Ces approches Nexus et GIRE ici développées sont reconnues complémentaires par les Nations Unies (Mohtar, R., et Lawford, R., 2016). Elles participent toutes les deux à un développement durable et à une protection de l'environnement. L'exemple de la CSS, régulièrement cité dans la thèse, montre qu'une amélioration de la gestion des ressources naturelles comme l'eau, le soleil, le sol et la biomasse est possible au profit d'un modèle rentable, durable (un des rares périmètres du Delta de plus de 50 ans en exploitation continue avec des rendements croissants, des coûts maîtrisés et résultats positifs) et de plus en plus orientés vers la réutilisation de la quasi-totalité des résidus agricoles et industriels pour produire de l'eau, des aliments et de l'énergie.

Les larges possibilités en production alimentaire (céréales, cultures industrielles, horticulture), énergétiques (biomasse résiduelle et dédiée, biocombustible, énergie solaire) sont encore sous exploitées. Les productions agricoles intensives et industrielles sont certes consommatrices d'eau comme le cas de la canne à sucre à la CSS. Mais avec des écoulements moyens dans la mer d'environ 13 milliards de m³/an, contre 5 milliards utilisés, l'eau douce ne constitue donc pas une contrainte, pour le moment, dans le Delta. La disponibilité réelle de cette eau au niveau

local, peut toutefois être réduite ou soumise à des contraintes économiques ou barrières physiques, surtout pour les petits producteurs.

Bien sûr, les échelles de production ne sont pas les mêmes et tout ne sera jamais transposable. Mais l'exercice ne réside pas dans un copier-coller vers les acteurs ruraux fragiles mais plutôt dans l'exemplarité, une incitation à mieux valoriser ce qu'ils possèdent déjà : ensoleillement et végétaux aquatiques pour produire de l'énergie renouvelable bon marché pour les villages déconnectés des réseaux nationaux, pisciculture pour produire des aliments protéiques en luttant contre l'enherbement des plans d'eau et ainsi augmenter la disponibilité en eau agricole, pratiques d'irrigation économes au profit en particulier, des petits acteurs situés en fin de réseau, élevage intensif sur des surfaces réduites en y associant de la micro-irrigation familiale (familysystem)...

Le partenariat agriculture traditionnelle/agro-industrie qui voit déjà le jour dans des espaces réduits pourrait prendre de l'ampleur et favoriser l'émergence dans le Delta de véritables zones franches hydro-agricoles avec de multiples filières porteuses mais que l'Etat doit forcément protéger et encadrer. La création d'emplois durables, le transfert de technologie, le raccordement des zones rurales aux réseaux hydrauliques et électriques des agro-industries, la gestion concertée et équitable du foncier rural sont autant de pistes créatrices de valeur ajoutée et socle d'une véritable intégration économique sous-régionale.

Si le Delta réussit cette mutation hydro-agricole, son développement socio-économique en sera fortement impacté à travers un **Nexus Eau-Aliment-Energie-Santé-Education** permettant des réactions en chaîne à partir d'une optimisation de la gestion de l'eau et du sol

=> *Optimisation de l'irrigation-drainage pour la conservation et amélioration de sols*

=> *Accroissement durable des rendements*

=> *Agro industrialisation des filières*

=> *Obtentions de sous-produits agricoles*

=> *Valorisation énergétique des sous-produits par différents acteurs*

=> *Intégration des acteurs*

=> *Croissance économique*

=> *Augmentation de l'épargne*

=> *Développement humain.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie référencée dans le texte

Ahmed D. S., Ba S, Eduwie M, Jacob O. Ehiorobo, Niang A F, Izinyon O. C., Kane A, Oduro-Kwarteng S (2014). Water Resource and River Basin Management Joint Training Course. NEPAD Western African Water Centres of Excellence. ACT4SSAWS ; Deliverable SN-D14-8, 2016.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO Rome, Italy.

Anonyme (1998) : Projet gestion de l'eau, coopération Scientifique K. U. Leuven- SAED Belgique Sénégal Phase 2 1997/1998 document final

Anonyme (1998) : Projet gestion de l'eau, coopération Scientifique K. U. Leuven- SAED Belgique Sénégal Phase 2 1997/1998 : Etude la salinité des sols en riziculture non drainée dans le Delta du Fleuve Sénégal 38 p.

Anonyme (2000) : Plan D'action régional de Gestion intégrée des ressources en eau de l'Afrique de l'ouest ; Conférence ouest africaine sur les plans d'actions de GIRE, CEDEAO, Ouagadougou, 29-31 octobre 2003, 126 p.

Anonyme (2005) : La loi d'Orientation agro-sylvo-pastorale, texte adapté, Direction de l'analyse de la prévision et des statistiques, Ministère de l'agriculture, 68 p

Anonyme, 2007 : Plan d'actions pour la gestion intégrée des ressources en eaux du Sénégal (PAGIRE), DGP/RE/GWP, 62 p

Anonyme, (2011). Lac de Guiers, périls sur une source vitale. Les cahiers du GREP : *Groupe de recherche environnement et presse*. Sénégal, n°4. 16 p.

Anonyme (2015) : Cours de drainage agricole, Ecole Nationale Supérieure Agricole de Thiès, 110 p

Anonyme (2016) : Projet de rapport de synthèse technique : évaluation de l'état des services hydrologiques et recommandations pour leur amélioration dans les pays sélectionnés d'Afrique (Sénégal) Banque Mondiale, Water4Life, 137 p.

Anonyme (2003) : L'évaluation de la dégradation des terres au Sénégal ; Rapport préliminaire, Projet FAO Land And Degradation Assessment (LADA), FAO/CSE, 62 p.

Anonyme (2005) : Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, 2005

Anonyme (1998) : Rapport annuel de la Direction des Eaux, Forêts, Chasse et de la Conservation des Sols (DEFCCS), Ministère de l'environnement, Sénégal.

Anonyme (2019) : Termes de référence de l'atelier de validation des référentiels métiers-compétences et d'élaboration des référentiels de formation, ISEP (Institut Supérieur d'Enseignement Professionnel) de Richard Toll, MESRI, 5 p.

Anonyme (2019) : Termes de référence des missions de prospection de places de formation en entreprise du Programme de Formation Ecole-Entreprise (PF2E), MEFPA, 11p.

Anonyme (2015) : Using IWRM best practices to develop Appropriate Capacity and Training to benefit Sub-Saharan Africa Water Security [ACT4SSAWS]-PROJECT DELIVERABLE 8-IWRM Interventions for the Delta Pilot area-SENEGAL

Anonyme (2017) : PROJET No23-289S : soutien à la mise en œuvre de la coopération entre le Sénégal et l'Union européenne prévue par les Accords de Cotonou -Union Européenne-IRD-UCAD Dakar, 120 p.

Anonyme, (2019) : Compte rendu de la réunion du Comité Permanent des Eaux (CPE) de l'OMVS de juin préparatoire à l'hivernage 2019.

BAD (2016) : Document de stratégie pays du groupe de la banque au Sénégal 2016-2020, juin 2016, 58 p.

Badiane A A et al (2005) : Rapport Final Projet « Contrôle biologique de la végétation aquatique envahissante des canaux d'irrigation dans la Vallée du Fleuve Sénégal. » Test des potentialités de la carpe chinoise (*Ctenopharygodon idella*) et des tilapias (*Tilapia rendalli* et *Tilapia zillii*). CSS-ULg-DPCA

Banque Mondiale (2009) : Rapport sur le développement dans le monde 2008, l'Agriculture au service du développement, Edition Nouveaux Horizons, 424 p

Barbier B, Ouedraogo H, Dembélé Y, Yacouba H, Barry B, Jamin JY, 2011. L'agriculture irriguée dans le Sahel ouest-africain. Cah Agric 20 : 24-33. doi : 10.1684/agr.2011.0475

Belcher H W, Merva G E (1987). Results of Drainmod Verification Study for zeignefuss soils and Michigan climate. ASAE paper N°87-2554, Saint Joseph, MI 49085

Beye M, Marion D., (1988), Proposition de programme de gestion de l'eau d'irrigation, CSS, doc interne, 17 pages.

Beye M., Séné A. (1990) : Gestion de l'eau dans un grand périmètre irrigué : l'expérience de la CSS, p.1-14, In : Séminaire international - Richard Toll : CSS, 1990

Biswas A K (2004) Gestion Intégrée des Ressources en Eau : Une réévaluation ; Contribution du Forum de l'Eau : International Water Resources Association ; Water International, Volume 29, N° 2, Pages 248–256

Blazy JM et al (2016) : Production of electricity from energy cane in small tropical islands: an ex ante agro-environmental, economic and industrial analysis in Guadeloupe.

Boivin et al, (1993) : Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du fleuve Sénégal, IRD-ISRA, 597p

Boivin P et Le Brusq J Y (1985) : Désertification et salinisation des terres au Sénégal, Problèmes et remèdes. Séminaire national sur la désertification Avril 1985, Saint Louis, Fond documentaire ORSTOM, 6 p.

Bos M G, Nugteren J (1974) : On irrigation efficiencies, 4^o edition, ILRI Publication 19, Wageningen, 121 p.

Brondeau F, (2011). L'agrobusiness à l'assaut des terres irriguées de l'Office du Niger (Mali). Cah. Agric. 20 : 136-43. doi : 10.1684/agr.2011.0472.

- Brouwners R, (1995), Gestion des terres dans le complexe irrigué de la Compagnie Sucrière sénégalaise à Richard Toll, rapport de mission de conseil agro-pédologique, CIRAD, 62 pages
- Burt, C.M., Styles, S.W., (1999). Modern Water Control and Management Practices : Impact on Performance. Water Report 19, FAO/IPTRID/World Bank. FAO : Rome, 224 p
- Burnett K and Christopher A. (2018). Accounting for Externalities in the Water Energy Food Nexus Wada from *The Water-Energy-Food Nexus*, Global Environmental Studies
- Castellanet C. et al (2019) : Etude pour l'évaluation des besoins pour le contrôle du typha dans le Delta du fleuve Sénégal et en Mauritanie, Rapport 3 méthodes et actions viables de contrôle du Typha, GRET/OMVS, 49 p.
- Ceuppens J., Wopereis M.C.S (1999) : Impact of non-drained irrigated rice cropping on soil salinization in the Senegal River Delta. *Geoderma*, 92 : 125-140.
- Charollais M., Weber V. (1994). Evolution des sols irrigués dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal.
- Chopart JL, Bonnal L, Martine JF, Sabatier D, (2013). Functional relationships between dry above-ground biomass and the energy yield of sugarcane. Comm. XXVIII ISSCT Congress Sao Paulo (Brazil), 24-27 June 2013. In : Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 28, 2013,11p., Abstract book, STAB & ISSCT edit ISBN 978-0949678-27-0 p.39.
- Chopart JL. (2014) : Méthodes de culture durable de canne combustible dans un sol volcanique de Guadeloupe, de la plantation à la repousse. Premières propositions. Document CIRAD projet REBECCA, 28 p.
- Chopart JL, Sergent G. (2015). Root biomass quantification of sugar and multipurpose cane varieties for sustainable production. In : Proceedings of ISSCT Agronomy Workshop, Durban, South Africa (August 2015), Abstract ISSCT and SASRI Edit., 1 p.
- Chopart J L, Sergent G, Goebel F R. (2015). Cropping systems for energy cane grown on volcanic soil in a tropical climate: initial results on planting dates, cycle duration and pest pressure. In : Proceedings of ISSCT Agronomy Workshop, Durban, South Africa (August 2015), Abstract ISSCT and SASRI Edit., 1 p.
- Chopart J-L., (2016). Two high-fibre sugarcane varieties adapted for energy use in Guadeloupe In : Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 29, pp. 34-37, 2016.
- Chopart J L et Sall M T (2017): Advances in sugarcane irrigation for optimization of water supply. Chapter taken from: Rott, P. (ed.), *Achieving sustainable cultivation of sugarcane Volume 1: Cultivation techniques, quality and sustainability*, 2018, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK (ISBN: 978-1-78676-144-6; www.bdspublishing.com) pp.141-162.
- Cissé B (2011) : Les eaux de drainage des périmètres irrigués du Delta du Fleuve Sénégal : systèmes d'évacuation et qualité des eaux, Thèse de doctorat de 3eme Cycle Géographie Faculté des Lettres et Sciences Humaines, UCAD/Université de Montaigne, Bordeaux III/UCAD-EDEQUE, 310p.

- Cogels F. X. (1997) : La qualité des eaux de surface dans le delta du fleuve et le lac de Guiers. ORSTOM, 48 pages.
- Coly A. (1996). Le système fluvio-lacustre du Guiers : étude hydrologique et gestion quantitative intégrée. Thèse de doctorat 3ème cycle de Géographie, UCAD, 320 p.
- Daher, B. and R.H. Mohtar. (2015). Water-energy-food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making, Water International, DOI:/02508060.2015.1074148
- Debord R. (2020) : Développement d'un procédé de précipitation des phosphates sous forme de struvite ; Naskéo Environnement. <https://www.bioenergie-promotion.fr/85539/belle-referance-de-methanisation-territoriale-pour-naskeo-au-poire-sur-vie/>, consulté le 28/10/2020 à 11 heures.
- DEMETER (2013) : Economie et stratégies agricoles ; le club Déméter ; 432 p
- DGCIP (2002) : Le développement des agricultures d'Afrique subsaharienne, repères pour les actions de la coopération française ; Ministère des Affaires Etrangères ; 32 p
- Dia M P et SOW A M (2001) : Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté- DSRP- Rapport provisoire
- Dia S (2010) : Évolution des politiques publiques dans le Delta du Sénégal : les réponses organisationnelles et spatiales au désengagement de la SAED. Solutions préventives aux conflits d'usage ou facteur d'inégalités dans le Delta du Sénégal, 21 p
- Dia, S. (2004). Nature et Métropole : évolution des politiques publiques dans le Delta du Sénégal : les réponses organisationnelles et spatiales au désengagement de la SAED. *VertigO* 12(2) 19 p.
- Diallo A et al (2013) : Productivité agricole, croissance économique et pauvreté au Sénégal : analyse par un MEGC dynamique récursif en micro-simulation, Direction de la prévision et des études économiques, doc d'étude N°26, 44 p.
- Diène S R., (1998) : Riziculture et dégradation des sols en vallée du fleuve Sénégal : analyse comparée des fonctionnements hydrosalins des sols du delta et de la moyenne vallée en simple et double riziculture. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 221 p.
- Dumont R (1962). L'Afrique noire est mal partie, Le Seuil, collection « Esprit », 287 p.
- Dingkuhn, M. Asch, F et Miezán, 1993. Salt tolerance of rice varieties under irrigated conditions in the Sahel WARDA ann. Report Bouake pp.36-37
- Diop M (2017) : Evaluation du volume d'eau distribuée aux producteurs riverains de la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) pour une meilleure gestion quantitative des ressources en eau. Mémoire de fin de cycle ENSA Thies, 74 p.
- Diop P (2017) : Vers une stratégie de gestion participative multi-usages de la ressource en eau dans le delta du fleuve Sénégal : processus de décision et outils de régulation autour du lac de Guiers, Thèse de doctorat en cotutelle UCAD-EDEQUE-Université de Versailles, 361 p.

- DPEE (2013) : Situation économique et financière en 2012 et perspectives en 2013, Ministère de l'économie et des finances, 28 p.
- DPEE (2014) : Situation économique et financière en 2014 et perspectives en 2015, Ministère de l'économie et des finances, 35 p.
- Duc T M (1971) Contrôle de la nappe salée dans le casier expérimental des 120 ha à Richard Toll (Sénégal) IRAT 7 p.
- Duc T M et Gillet N (1970) Etudes hydrauliques agricole mené sur le casier de 120 ha de Richard Toll, IRAT 26 pages
- ENDA (1986) : Enjeux de l'après barrage, Ministère de la Coopération Française, 500 p
- Engelhard P ; (1988) : Quelles stratégies de recherche pour le tiers monde ? Collection Mondes en développement Tome 15, N°62-63.
- Faye C., Diop E.S., Mbaye I. (2015). Impacts des changements du climat et des aménagements sur les ressources en eau du fleuve Sénégal : caractérisation et évolution des régimes hydrologiques de sous-bassins versants naturels et aménagés. *Belgeo* (4) 26p. [en ligne].
- FAO, (2009) : The state of the food and agriculture- 2008, Food and Agriculture Organization FAO, Rome
- Faye M M (2005) : PDIDAS : Évaluation d'Impact Environnemental et cadre de gestion environnementale et sociale, Rapport Final ; Dakar, 187p.
- Faye J, et al (2007) : Les implications structurelles de la libéralisation sur l'agriculture et le développement rural au Sénégal Programme RuralStruc, IPAR, BM, 182 p.
- Fralav P et al (2002). The quest for integrated and sustainable water management in the Senegal River Valley. In : ENVIROWATER 2002. 5ème Conférence Inter-Régionale sur l'Environnement et l'Eau, Ouagadougou, 10 p.
- Fouss JL., Bengtson RL., Carter C.E. (1987). Simulating subsurface drainage in the lower Mississippi Valley with DRAINMOD. Trans. ASAE 0(6):1679-1688
- Garin P. (2003) : Maintenance : principes, organisation et stratégie financière. Cours CNEARC, Montpellier. Support de cours, 6 p.
- Gasc N. (2017). Formation sur les méthodes de plantation et d'irrigation d'arbres fruitiers par le projet Irrigasc de Diouroup. Document de travail interne. 4 p.
- Gayle, G. A., R. W. Skaggs and C. E. Carter. (1985). Evaluation of a water management model for a Louisiana sugar cane field. Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists. Vol. 4 :18-28.
- Goebel F.R., Chopart J.L., Poser C., Braconnier S., Martiné J.F., Gérardeaux E. (2016). Intégrer les nouvelles valorisations de la biomasse dans la conception des systèmes de culture. Chapitre 14 (pp 183-194). In : « Développement durable et filières tropicales ». Editions Quae (France), ISBN : 978-2-7592-2475 3, 336 p.
- Guyon G. (1966) : Considérations sur l'hydraulique du drainage des nappes. Bull. Tech. de Génie Rural, N°79. CTGREF., Antony, France.

- Guyon G. (1972) : Les formules de l'hydraulique des nappes rabattues par tranchées drainantes. Bulletin technique d'information. Ministère de l'agriculture, France. No 271-172 : 859-865
- Hammel K et al (1999) : Two-dimensional simulation of bromide transport in a heterogeneous field soil with transient unsaturated flow ; European Journal of soil science, Vol 50, Issue 4, December 1999, p 633-647
- Hoolohan C. et al. (2018) : Engaging stakeholders in research to address water–energy–food (WEF) nexus challenges. 12 p.
- Hooghoudt S.B. (1940) : General consideration of the problem of field drainage by parallel drains, ditches, watercourses, and channels. Publ. No.7 in the series Contribution to the knowledge of some physical parameters of the soil (titles translated from Dutch). Bodemkundig Instituut, Groningen, The Netherlands.
- Houchi R. et Coudret A. (1994) : La sélection de triticales tolérantes au sel : Cahiers agriculture. 3 : 227- 30.
- Hulme, M. (2001). Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998. Global Environmental Change 11, 19-29.
- IISD Report (2013). The Water–Energy–Food Security Nexus : Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management. The International Institute for Sustainable Development, February 2013, 28 p.
- Jouve P. (1997) : Des techniques aux pratiques : conséquences méthodologiques pour l'étude des systèmes de production agricole et le développement rural. Communication au colloque sur les « méthodes pour comprendre et mesurer les pratiques agraires en milieu tropical et leurs transformations ». Niamey, 13p.
- Kamara, S. (2013). Développements hydrauliques et gestion d'un hydrosystème largement anthropisé : Le delta du fleuve Sénégal. Thèse de doctorat, en géographie, Entre l'Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse et l'Université Gaston Berger de Saint-Louis. 472 p.
- Kane A (1985). Le bassin du Sénégal à l'embouchure. Flux continentaux dissous et particuliers. Invasions marine de la basse vallée du fleuve. Contribution à l'hydrologie fluviale et à la dynamique estuarienne en milieu sahélien. – Thèse 3ème cycle, Nancy II. 205 p.
- Kane A. (1997) : L'Après barrage dans la vallée du fleuve Sénégal : modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques ; conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro agricoles, thèse d'Etat, Département de Géographie, UCAD, 551 p
- Kane C. (2010) : Vulnérabilité du système socio-environnemental en domaine sahélien : l'exemple de l'estuaire du fleuve Sénégal ; de la perception à la gestion des risques naturels, Thèse de Doctorat en cotutelle de l'Université de Strasbourg et de l'UCAD (EDEQUE); 318 p.
- Khouma M., (2000) : Les grands types de sols du Sénégal in « Quatorzième réunion du Sous-Comité ouest et centre africain de corrélation des sols », Bénin, FAO, 18p.
- Lacharme M (2001) : fascicule 9 du mémento technique de riziculture, le contrôle de la salinité dans les rizières, 20 p

- Larbaigt F. (2001) : La gestion de la maintenance dans les périmètres irrigués villageois de la moyenne vallée du fleuve Sénégal -Mémoire Ingénieur ENGEES
- Le Boterf G (2011) : Ingénierie et évaluation des compétences, 6^e édition, Ed Eyrolles, 606 p.
- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomian P., Casse- Delbart F. (1995) : Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures N° spécial 50e anniversaire FAO, Vol 4 N°4, 11 p.
- Luc P. (2017) : “Calibration du modèle AQUACROP pour la production de canne à sucre au Sénégal,” Université de Liège, mémoire de master, 27 p.
- Maiga M. (1995) : Le bassin du fleuve Sénégal de la traite négrière au développement sous régional autocentré. Edition L’Harmattan, 321 p.
- Malota M. (2012) : An assessment of shallow water tables and the development of appropriate drainage design criteria for sugarcane in Pongloa. Master degree’s from College of Agriculture, Engineering and Science, University of KwaZulu-Natal, South Africa, 211 p
- Mathew E. K., & Vos I. J. (2003) : Determination of drainage parameters in the low lying acidic sulphate coastal wetlands of Kerata, India. Paper N°11 9th International Drainage Workshop.
- Mazoyer M. et Roudart L. (2002) : Histoire des agricultures du monde, du néolithique à la crise contemporaine, Editions du Seuil, 705 p
- Mboup, M. (2014). Changements socio-environnementaux et dynamique de la végétation aquatique envahissante dans le delta du Fleuve Sénégal. Thèse de doctorat unique. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Faculté des sciences et techniques. EDEQUE, 188 p.
- Mermoud, A. (2006) : [Environmental Impacts Investigation of Irrigation Projects: Case Study of Kanyonyomba Rice Perimeter in Rwanda](#) ; Aménagement et Equipement du Territoire. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Merzoug M. S. (2005) : L’eau, l’Afrique, la solidarité, une nouvelle espérance, Editions Présence Africaine, 189 p.
- Meyer J et Al, (2013) : Good management Practices for The Cane Sugar Industry, IFC, 607 p
- Michel P. (1957). Rapport préliminaire sur la géomorphologie de la vallée alluviale du Sénégal et sa bordure. – Mission d’Aménagement du Sénégal, Saint-Louis, 85 p.
- Michel P. (1968). Genèse et évolution de la vallée du Sénégal de Bakel à l’embouchure (Afrique occidentale). - *Zeitschr. Géomorphologie*. N. F12, 318- 349 p.
- Michel P. (1973). Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude Géomorphologique. - Thèse d’Etat, Strasbourg, 1970. Mémoire. ORSTOM 63. 3 t., 752 p
- Mietton M et al (2005) : Le Delta du fleuve Sénégal Une gestion de l’eau dans l’incertitude chronique Incertitudes et Environnement, Arles, France, pp 321-336, 13 p.
- Mietton, M., et all. (2008). Le delta du fleuve Sénégal : gestion de l’eau dans l’incertitude chronique. In Allard P., Fox D., Picon B. (Eds) *Incertitude et environnement. La fin des certitudes* scientifiques SEH, Ecologie Humaine / Edi Sud, p. 321-336.

- Miezan K., Second GA., (1979). Prospection des variétés traditionnelles et des espèces sauvages des riz en Tanzanie. Multigraph ORSTOM, Paris.
- MCA/SAED (2015) : Irrigation et gestion de l'eau : compact du Sénégal 2009-2015, transformer la productivité agricole grâce de meilleurs réseaux d'irrigation dans le Delta et le Ngalenka, 14 p
- Mohtar H Rabi et Richard Lawford, J. (2016). Present and future of the water-energy-food nexus and the role of the community of practice Environ Stud Science, 8 p.
- Mohtar H Rabi et al (2019). Water as a catalyst for rural economic development: Concept Note for WWF Dakar 2021. AUB/FAO, Dakar 21 juillet 2019. 17 p.
- Mualem, Y. (1976) A New Model for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media. Water Resources Research, 12, 513-522.
- Ndao S. (2011), Méthodes et Techniques de Récupération et de Valorisation des Terres Salées : Contraintes et Opportunités, DDAR/SAED, ANSTS, 12 p.
- Ndiaye A. (2013) : L'agriculture sénégalaise de 1958 à 2012, Edition L'Harmattan, 226 p.
- Nging A. A. (2015) : Etude et Modélisation Hydrogéologique des Interactions Eaux de Surface-Eaux Souterraines dans un Contexte d'Agriculture Irriguée dans le Delta du Fleuve Sénégal, Thèse de doctorat en cotutelle UCAD-ULiège, 259 p.
- Niang A. (1998). Suivi de l'environnement et gestion qualitative des eaux du lac de Guiers : Approche globale et perspectives de la télédétection et des systèmes d'information géographique. Thèse de doctorat de 3ème cycle en Géographie Physique. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 342 p.
- OCDE (2008) : La hausse des prix alimentaires, causes et conséquences, 11 p.
- OLAC, (2016). Identification et caractérisation des unités Agro-industrielles implantées autour du système du lac de Guiers. 12 p.
- Barry B., (1985) : Le royaume du Waalo : le Sénégal avant la conquête, Editions Karthala, ISBN : 2-86537-141-7, 413 p.
- OMVS (2015) : Le journal de l'OMVS N°10, périodique du haut-commissariat, 16 p
- OMVS (2019) : Présentation du Projet de Gestion Intégré des Ressources en Eau et de Développement des Usages multiples du Bassin du Fleuve Sénégal (PGIRE Volets 1 et 2) www.omvs.org/content/le-pgire-.
- Lavigne-Delville P. (1997). Pour des systèmes irrigués autogérés et durables : façonner les institutions. Synthèse en français de : E. Ostrom, (1992) : Crafting institutions for self-governing irrigation systems. Paris : Inter-réseaux développement rural, 46 p.
- PARM (2018). Access to information system for agricultural risk management in Senegal (by CIRAD/MAER). Rome : PARM/IFAD, 90 p. Available at : <http://p4arm.org/document/access-to-information-system-for-agricultural-risk-management-in-senegal/>

- Poitevin De F. (1993) : Etude d'impact des techniques culturales sur les aménagements hydro-agricoles dans la région de Podor (Sénégal). Mémoire de 4^{ème} année de l'ESAP, Multig. ORSTOM Dakar, Sénégal, 53 p. + annexes
- Raes D., Sy B, Serneels S. et VAN Passel L. (1991) : Analyse du bilan d'eau de deux cuvettes du delta du fleuve Sénégal - Campagne Hivernale 1990. Projet Gestion de l'Eau, Bulletin Technique n°3, SAED-Centre de Ndiaye, Saint-Louis, Sénégal.
- Raes, D., Deckers J. and Diallo A.M. (1995). Water requirements for salt control in rice schemes in the Senegal river delta and valley. Irrigation and Drainage Systems Volume 9(2): 129-141.
- Raes, D. (2002). UPFLOW – water movement in a soil profile from a shallow water table to the topsoil. KULeuven, Reference manual. 18 pp.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., et Fereres, D. (2011). AquaCrop – The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water : Reference Manual. p. 265
- Raes D., Steduto P., TC. Hsiao et Fereres E. (2012). AquaCrop : Version 4.0 : Manuel d'utilisation. 172p.
- Rieu L. et Ruellle P. Coord. (2003) : Guide Pratique Irrigation, 3^o édition, Irestea ex Cemagref, 433 p.
- Rogers J S (1985). Water Management Model Evaluation of shallow sandy soils. Transactions of the ASAE 28 (3), PP 785-790
- SAED/DPDR-KULeuven (1997) : « Besoins en eau des aménagements hydro-agricoles du Delta et débits d'équipement des grands axes hydrauliques, Utilisation de Biriz et du SIG SAED », bulletin technique n°12, 59 p.
- SAED/DPDR-KULeuven (1998) : « Le modèle SIGBIRIZ », bulletin technique n°14, Mai 1998, 61 p.
- Sall M. T. (1997) : Etude des diverses modes de gestion technico-économiques des équipements agricoles à l'Union des Organisations de Producteurs de DEBI-TIGUET Saint Louis Basse Vallée -Sall M T, Mémoire Ingénieur des techniques agricoles, ISFAR-SAED, Bambey
- Sall M. T. (2005) : Etude des pratiques d'irrigation à la raie dans le périmètre irrigué de la Compagnie Sucrière Sénégalaise CSS, propositions d'amélioration, (Thèse master gestion sociale de l'eau et diplôme d'Ingénieur Spécialisé en Agronomie Tropicale, SupAgro-IRC-CIRAD Montpellier
- Sall M. T. et al (2015) : Amélioration des rendements par augmentation des fréquences des irrigations de la culture de la canne à sucre sur les sols salés de la Compagnie Sucrière Sénégalaise, AFCAS, Paris, 11 pages.
- Sall M. T. (2016) : Eau, Irrigation : une opportunité réelle d'emplois dans le delta du fleuve Sénégal, Note de contribution du PNES à la journée mondiale de l'eau 2016 sur le thème « Eau et Emplois », GWP West Africa, 5 p.

- Sall M. T. et al (2019) : L'agro-business : un rôle moteur en gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) et en nexus eau-énergie-alimentation ? Cas de la Compagnie Sucrière Sénégalaise, *Geo-Eco-Trop*, Numéro Spécial, 41, 8 p.
- Sall M. T. et al (2020) : A pathway to IWRM in the Senegal River Delta in the framework of the Water-Food-Energy Nexus. In book : "Climate Change and water resources in Africa", Springer Edit., 27 p.
- Savoie V (2009) : Le drainage agricole-Formation pour OAQ, MAPAQ- Session 2009-2010, Québec, 37 p
- Seck S M, (2016) : Le foncier, enjeux face au développement agricole et à l'exploitation familiale, séminaire UCAD/IRD sur le rapport conjoint UE/Etat du Sénégal, 3p.
- Séne A. (1999) : La gestion de la salinité des terres sous la canne à sucre irriguée à Richard-Toll au Sénégal In : *Agriculture et développement*, ISSN 1249-9951. n°24, p. 56-59.
- Sierra J., J.L. Chopart, L. Guindé, J.M. Blazy (2016) : Optimization of biomass and compost management to sustain soil organic matter in energy cane cropping systems in a tropical polluted soil : a modelling study. *Bioenergy Research*. 9 :798-808.
- Skaggs, R. W. (1981). Water movement factors important to design and operation of subirrigation systems. *Transactions of the ASAE*, Vol. 24(6) :1553-1561.
- Skaggs, R. W. and A. Nassehzadeh-Tabrizi. (1982). Design and drainage systems for land treatment of wastewater. *ASCE J. Irr. and Drainage Div.*, Vol. 108(IR3):196-211.
- SN-D8, (2015). Deliverable 8 : Using IWRM best practices to develop Appropriate Capacity and Training to benefit Sub-Saharan Africa Water Security : AUC (ACT4SSAWS-PROJECT)
-IWRM Interventions for the Delta Pilot area-SENEGAL, 20 p.
- SN-D13, (2016). Deliverable 13 : Intervention Strategy and Implementation Plan, Cheikh Anta Diop University: AUC (ACT4SSAWS) Project Deliverable, Sénégal, 21 p.
- Stocker T. F. et al, (2013). *Climate Change 2013 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*, ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp., 2013
- Stiglitz J. E. (2004) : *La grande désillusion*, Edition Fayard, 407 p.
- Sultan B et al (2015). *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, Ed IRD collection, 490 p.
- Susanto R H et al (1987). The use of simulation models to evaluate the performance of subsurface drainage systems. *Proc. Of the third International Drainage Workshop*, Ohio State university, OH, pp. 167-176.
- Tandian H. (2008). *Les organisations paysannes du Delta du Fleuve Sénégal dans la gestion des aménagements hydro agricoles : Problématique sociologique du transfert des aménagements hydro agricoles de la gestion publique (Etat) à la gestion privée par les organisations paysannes*. Thèse de doctorat, UGB. 448p.

Thiaw A. D. et al (2013) : Portrait institutionnel actuel de l'hydraulique agricole au Sénégal, ASPID, 52 p.

Tourte R. (Coord.) (2005) : Histoire de la recherche agricole en Afrique tropicale francophone, 5 volumes, FAO, 2813 p

Tiercelin J. R. (Coord.) (1998) : Traité d'irrigation, Editions Lavoisier Tech Doc, 1011 p

Van Genuchten M.T. (1980) : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892-898.

Wackermann J B (1995) : Le financement de la riziculture irriguée au Sénégal : l'exemple de la région du fleuve in Nianga laboratoire de l'agriculture irriguée ; Orstom Editions, ISBN 2 7099 1272 4 ; 573 p

Warrant C (2019) : Calibration du modèle de prévision de rendement AQUACROP pour la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) - variété N14 - au Sénégal, ULiège/CSS/CSE, mémoire de Master, 30 p.

Wellens J (2014) : Un cadre pour l'utilisation des outils d'aide à la décision à diverses échelles spatiales pour la gestion de l'agriculture irriguée en Afrique de l'Ouest, Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, Université de Liège, 127 p.

Wellens J et al (2018). IWRM : past, present and future. *Geo-Eco-Trop*, 2019.

Wellens J (2018) : Assimilation of Sentinel 2 data into AquaCrop for sugarcane in Senegal, Projet Bariseo, ULiège, 13 p.

Bibliographie consultée et non référencée

ADRAO/SAED (1998). Manuel pratique de riziculture irriguée dans le Delta du fleuve Sénégal, 80 p.

Anonyme (2004) : Gestion des ressources en eau, cas du bassin du Nil, FAO-Coopération italienne, 28 p

Blanchon D. (2013) : Atlas mondial de l'eau, défendre et partager notre bien commun, édition Autrement, 96 p.

Banque Mondiale (2010) : Rapport sur le développement dans le monde 2009, repenser la géographie économique, Edition Nouveaux Horizons 383 p

Basal P M et Manikowski S (2010) : PROGERT (Projet de gestion et de récupération des terres dégradées du bassin arachidier) Récupération des sols salés-Rapport de revue à mi-parcours p. 20

Bazin F. et al (2011) : Partager l'eau et ses bénéfices, les leçons de six grands barrages en Afrique de l'Ouest, The Global Water Initiative, IIED, 124 p

Castellanet C. et all (2019) : Etude pour l'évaluation des besoins pour le contrôle du typha dans le Delta du fleuve Sénégal et en Mauritanie, Rapport 3 méthodes et actions viables de contrôle du Typha, GRET/OMVS, 49 p.

- Crousse B., Mathieu P., Seck S. M. (1991) : La Vallée du fleuve Sénégal : Evaluations et perspectives d'une décennie d'aménagements (1980-1990) – Editions KARTHALA, Collection Economie et Développement, 380 p.
- DGPRES (2015) : Journée mondiale de l'eau 2015 : l'eau moteur de développement, synthèse des présentations, ministère de l'hydraulique, DGPRES, 42 p
- Dia O. K. (2015) : L'agriculture sénégalaise face aux ajustements structurels, Editions Maguilen, 141 p
- Doorenbos J., Pruitt, W.O., Aboukhaled, A. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. FAO Rome, Italy.
- FAO (2015) : La situation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation dans le monde : protection sociale et agriculture, briser le cercle vicieux de la pauvreté rurale, 167 pages, Rome
- FAO (2015) : La situation des marchés des produits agricole 2015-2016, 95 p Rome
- Faures J M et Santini G (2008) : Eau et pauvreté, interventions pour améliorer les moyens d'existence des populations d'Afrique subsaharienne, FAO/FIDA, 110 p
- Fall R D et Diagne P N (2010) : Les ressources en terres pour l'agriculture au Sénégal, Institut National de Pédologie, 62 p
- Hammecker C., Maeght J.L., Wade M. (1999). Essai de drainage sur le périmètre de Donaye 8. PSI-CORAF, Multig. ORSTOM Dakar, Sénégal, 11p.
- Handicap international (2001). Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne : Risque et recommandations HANDICAP international, novembre 2001
- Handicap international (2001). Le point sur l'irrigation et la salinité des sols dans le Sahel
- Hansen and Hitz, WD (1982). Metabolic of mesophytes to water deficits. Ann Rev Plant Physical 33-163-203;
- Jalloh A et al (2013) : West African agriculture and Climate change, a comprehensive analysis, IFPRI ; 408 p
- Laurent F (2012) Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université du Maine, Le Mans, France, 214 p.
- Le Brusq J Y et Loyer J.Y (1983) : Utilisation de l'informatique pour le contrôle de la qualité des eaux en domaine irrigué au Sénégal. Colloque 'Barrage en terre et développement des zones rurales en Afrique. Thiès
- Le Brusq J.Y. (1980). Etudes pédologiques des cuvettes de la vallée du Lampsar. Multig. ORSTOM Dakar, Sénégal 76p. + annexes.
- Loyer J.Y., (1989). Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. ORSTOM, collection Etudes et Thèses, Paris, France, 137p
- McCartney et al (2010) : Wetlands, Agriculture and poverty reduction, IWMI research Report N° 137; 31 p

- McMahon PC, Mostaghimi S, Wright FS. (1988). Simulation of corn yield by a water management model for a coastal plains soil. *Trans. ASAE* 31(3):734-742.
- Michel P., (1973). Les bassins des fleuves Sénégal et la Gambie, étude géomorphologique. Mémoires ORSTOM, 3 tomes, Paris, France 752p.
- Michel P. (1985). - Sécheresse et transformation de la morphodynamique dans la vallée et le delta du Sénégal. - *Revue Géom. Dyn.*, Paris, 4, 113-130.
- Ministère de l'Environnement et du développement durable (2015) : Les changements climatiques, processus de mise en œuvre du Sénégal, Cop21, 10 pages
- Mougenot B. (1982) : Etude pédologique de la cuvette de NTHIGAR 151 p ORSTOM/Dakar
- Niang A. (2011). Aménagement du Lac de Guiers de 1824 à l'avènement des grands barrages du Fleuve Sénégal : prospective géographique, *Climat et développement*, n°12-2011. p. 27-38 [en ligne]
- Orange D et al (2002) : Gestion Intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales, Editions IRD, 987 p
- Raes D, Sy B (1993) : Rapport final du projet gestion de l'eau-Coopération scientifique K U Leuven/SAED (1989-1993), Saint Louis, 63p
- Raes D, De Nys E, Deproost P (2002). UPLow, a model to assess water and salt movement from a shallow water table to the topsoil. Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation, Montpellier, France. 9 p.cirad00180342
- Sall M T (2003) : Analyse de la variabilité des pratiques d'irrigation dans les périmètres du Sud de l'île de la Réunion et éléments de diagnostic de leurs performances en production cannière - SupAgro-IRC-CIRAD ; Sall M T, Mémoire stage ESAT diplôme d'agronomie tropicale, 74 p
- Sall M T et al (2004) : Analyse de la phase d'installation des associations d'irrigants autour d'un canal principal dans la région de DANAMOUR-Egypte le long du Nil (SupAgro-IRC-IRD, Montpellier
- Sene A, (2000), La gestion de la salinité des terres sous canne à sucre irriguée à Richard Toll au Sénégal, *Agriculture et Développement*°24, 146 pages
- Skaggs RW, Fausey NR, Nolte BH (1981), Water management evaluation for North Central Ohio. *Trans ASAE* 24(4): 922-928.
- Skaggs, R. W. and A. Nassehzadeh-Tabrizi. (1982). Optimizing drainage for corn production. Technical Bulletin, No. 274, North Carolina Agricultural Research Service, N. C. State University, Raleigh, N.C. 41 pp.
- Susanto RH, Feyen J., Dierickx W, Wyseure G (1987), The use of simulation models to evaluate the performance of subsurface drainage systems. In : *Prod 3rd Int Drainage Worksh*, Ohio StateUniv, pp. A67-A76

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des tableaux

Tableau 1 : Découpage administratif de la zone du Delta selon le suivi de la SAED	33
Tableau 2 : Répartition nationale des terres et leur vocation (Source : FAO/CSE, 2003).....	38
Tableau 3 : Principaux types de sols su Sénégal (Khouma, 2000)	39
Tableau 4 : Principaux types de sols du Delta (SAED, 2011)	41
Tableau 5 : Typologie des zones agro-écologiques et des systèmes de production au Sénégal (Faye et al, 2007).....	43
Tableau 6 : Typologie des systèmes irrigués selon l'ARID (2004) in Barbier et al (Cahiers agricoles, Vol 20, N°8, 2011).....	44
Tableau 7 : Evolution des surfaces aménagées dans le Delta (Dia, 1984)	50
Tableau 8 : Evaluation des pertes hydriques sur les sols du Delta (CSS)	58
Tableau 9 : Teneur moyen en matière organique dans un sol tropical en fonction du taux d'argile dans le périmètre de la CSS (CSS, 2018).....	59
Tableau 10 : Evolution du taux de la matière organique sur les sols de la CSS par type (en %) (Sall, 2015).....	60
Tableau 11 : : Evaluation de la distance de pénétration de la mer selon la baisse du débit du fleuve	61
Tableau 12 : Chronologie de la mise en place des principales infrastructures hydrauliques dans le Delta et la CSS (Sall, 2005).....	64
Tableau 13 : les principales entreprises agricoles et agro-industrielles de Vallagri	67
Tableau 14 : Evolution des types de goutteurs utilisés à la CSS depuis 2000	71
Tableau 15 : Historique des premières études réalisées dans la zone d'étude (Béye et al, 1988)	73
Tableau 16 : Synthèse historique des potentialités et contraintes dans le Delta	80
Tableau 17 : Synthèse historique des Réussites et Echecs dans le Delta.....	81
Tableau 18 : Comparaison des deux principaux modèles de production irriguée dans le Delta.....	86
Tableau 19 : Structuration de scénarii envisagés dans le Delta	87
Tableau 20 : Type de salinité en fonction des paramètres mesurés	105
Tableau 21 : Les différents modes de lessivage pratiqué à la C.S.S.....	106
Tableau 22 : Indicateurs satisfaisants de pH et CE à divers horizons avant sortie lessivage	110
Tableau 23 : Evolution des indices de rendements au niveau des parcelles à salinité résiduelle du fait d'une sortie récente de lessivage	117
Tableau 24 : Evolution des indices de rendement au niveau des parcelles à salinité résiduelle étudiées	118
Tableau 25 : Données d'irrigation de l'essai KH13J	118
Tableau 26 : Synthèse des besoins en main-d'œuvre par système d'irrigation	119
Tableau 27 : Caractéristiques principales des parcelles suivies	123
Tableau 28 : Caractéristiques de la culture de la canne à sucre sur AquaCrop à la CSS.....	133
Tableau 29 : Dégradations environnementales et causes identifiées dans le Delta (Source : FAO/CSE, 2003)	139
Tableau 30 : Produits et sous-produits de la canne à sucre à la CSS (Produits directs en gras et sous-produits en italique).....	145
Tableau 31 : Valeurs et pourcentage de l'énergie utilisée par secteur d'activité.....	147
Tableau 32 : Composition chimique du typha et comparaison avec d'autres résidus céréaliers (projet ACT4SSAWS)	156
Tableau 33 : Typologie simplifiée des principaux modèles de production agricole du Delta	165
Tableau 34 : Surfaces et volumes d'eau utilisés par les populations et la CSS sur les canaux de la CSS.....	166
Tableau 35 : Synthèse des actions et procédures dévolues au modèle	178
Tableau 36 : Synthèse des formations de base identifiées pour la production irriguée.....	189

Liste des figures

Figure 1 : Schéma conceptuel du projet de thèse : l'approche de cette thèse provient d'un questionnaire sur la durabilité des systèmes d'irrigation sur la base d'une analyse complète des aménagements hydro-agricoles du delta mettant en exergue leurs différences agronomiques et leurs complémentarités surtout au niveau de l'approche GIRE, base solide de cette durabilité.....	13
Figure 2 : schéma simplifié du management d'un système irrigué.....	19
Figure 3 : Diagramme ombrothermique moyen du périmètre de la CSS	36
Figure 4 : Moyenne Evapo bac journalière en mm/j site CSS.....	37
Figure 5 : Organisation politique du scénario basée sur la gouvernance et l'accompagnement institutionnel des investissements physiques.....	88
Figure 6 : Schéma du processus de durabilité axé sur des investissements productifs ayant recours à des capitaux à caractère social et technique.....	88
Figure 7 : Origines et utilisations prioritaires des investissements préconisés dans le Delta	91
Figure 8 : Evolution attendue des systèmes de production et de culture suite aux investissements majeurs et aux transferts de technologie	92
Figure 9 : Structuration détaillée des actions prioritaires autour des deux thématiques	93
Figure 10 : Schémas de rentabilité des investissements axé sur l'épargne et gage de durabilité.....	95
Figure 11 : Interface AquaCrop (Manuel AquaCrop)	125
Figure 12 : Schéma de calcul dans AquaCrop indiquant les processus affectés par les stress hydriques (de a à e) et les étapes conduisant à la prévision du rendement (Manuel AquaCrop).	126
Figure 13 : Tableau de bord de l'évaluation de la simulation. Avec : (a) Développement de la couverture de la canopée observé (points gris) vs simulé (ligne noire). (b) Taux d'épuisement simulé (ligne noire bosselée) par rapport à la teneur en eau du sol à saturation et au point de flétrissement permanent (lignes pointillées grises), aux seuils d'eau pour le développement du couvert végétal (ligne verte), à la fermeture des stomates (ligne rouge) et au début de la sénescence (ligne jaune), et aux événements d'irrigation (lignes horizontales bleues). (c) Détails des impacts du stress (mêmes couleurs qu'au point (b)). (d) Biomasse relative (zone verte), biomasse cumulée (ligne bleue) et biomasse observée (point rouge).	127
Figure 14 : Quelques exemples d'évolution simulée (ligne noire) et observée (points gris) du fCover.....	129
Figure 15 : fCover observée vs simulée pour l'ensemble des parcelles suivies	129
Figure 16 : Biomasse observée vs. biomasse simulée en utilisant un fichier de culture unique pour l'ensemble des types de sol : argile (noir), limoneux (vert) et argilo-limoneux (rouge).	130
Figure 17 : Biomasse observée vs. biomasse simulée en utilisant un fichier de culture distinct pour chaque type de sol : argileux (noir), limoneux (vert) et argilo-limoneux (rouge).	130
Figure 18 : Tableau de bord de quelques simulations AquaCrop pour la canne à sucre sur un sol argileux... ..	131
Figure 19 : Tableau de bord de quelques simulations AquaCrop pour la canne à sucre sur un sol limono-argileux.	131
Figure 20: Tableau de bord de quelques simulations AquaCrop pour la canne à sucre sur un sol limoneux. ..	132
Figure 21 : Tableau de bord de quelques simulations sous AquaCrop utilisant le calendrier d'irrigation réel sur F5A.....	135
Figure 22 : Calendrier d'irrigation proposé pour la canne à sucre sur sol argileux en irrigation de surface ...	135
Figure 23 : Tableau de bord de simulations d'AquaCrop utilisant le calendrier d'irrigation optimisé.....	135
Figure 24 : Production contrôlée de charbon de bois de 1937 à 1997 (Sources : Rapports annuels Direction des Eaux, Forêts, Chasse et de la Conservation des Sols (DEFCCS))	139
Figure 25 : Processus industriel de transformation de la canne à sucre à la CSS en 2019	144

Figure 26 : Schéma simplifié des productions industrielles à partir de la canne à sucre (CSS).....	145
Figure 27 : Vue de la nouvelle chaudière et de la turbine pour la combustion la bagasse et l'utilisation de la vapeur produite	146
Figure 28 : Schéma détaillé de l'utilisation de la biomasse produite en energie pour l'irrigation	148
Figure 29 : Evolution des surfaces récoltées à la CSS entre 1975 et 2018 (Sall, 2020)	158
Figure 30 : Evolution des productions de canne (tonnage total et rendement/ha) à la CSS entre 1975 et 2018 (Sall, 2020)	159
Figure 31 : Schéma simplifié du modèle de GIRE promu par la CSS et les acteurs riverains	170
Figure 32 : Schéma conceptuel du mode de gouvernance et de mise en œuvre des modèles de GIRE et Nexus dans le Delta (Sall, 2019)	171
Figure 33 : Processus de valorisation des données hydro-climatiques pour tous les acteurs de la GIRE	175
Figure 34 : Cadre d'action durable et de partenariat Privé-Privé sous l'égide de l'Etat	176
Figure 35 : Relations entre les objectifs de la GIRE et les outils pour y parvenir.....	178

Liste des cartes

Carte 1 : Caractérisation des sols de la zone, du potentiel irrigable et de la zone CSS (Brouwners, 1994)	32
Carte 2 : Visualisation du réseau hydrologique de surface de (a) janvier 1968 à (b) novembre 1992 (FAO/CSE, 2003).....	34
Carte 3 : Système hydrologique du Delta (OLAC, 2015).....	34
Carte 4 : Situation hydrologique du lac et du Ferlo (OLAC, 2018)	66
Carte 5 : Evaluation du niveau d'infestation du Typha en bordure du Lac (OLAC).....	154
Carte 6 : Evolution des installations de la CSS et des acteurs ruraux locaux (Cesaro, 2019).....	162
Carte 7 : Carte du périmètre de la CSS et des zones villageoises en périphérie (CSS).....	168
Carte 8 : Image satellite de type Sentinel-2 prise en saison sèche représentant l'exploitation de la CSS (découpage régulier) et les producteurs voisins (bordures irrégulières).....	173

Liste des photos

Photo 1 a et b : Coupe transversale des deux principaux types de sol dans le Delta (Sall, 2010)	40
Photo 2 : Les principaux types de sol du Delta : (a) lourd en labour et (b) léger sous irrigation localisée (Sall, 2015).....	42
Photo 3 : (a) Opérateur de l'amorçage manuel du siphon et (b) irrigation à la raie par tuyau souple (Sall, 2017).....	70
Photo 4 : Goutteur d'une ligne de micro-irrigation (Sall, 2017).....	72
Photo 5 : Dispositif de filtration à la parcelle (Sall, 2017).....	72
Photo 6 at b : Incidences d'un mauvais drainage et de la salinité résiduelle dans des parcelles de canne	102
Photo 7 : Draineuse/trancheuse pour installer le drain	104
Photo 8 : Drain enrobé de géotextile	104
Photo 9 : Vue d'un canal taluté d'une parcelle en cours de lessivage (CSS, 2019)	108
Photo 10 : Parcelles cloisonnées.....	109
Photo 11 : Mise en eau pour lessivage (CSS).....	109
Photo 12 : Effet du sel sur la levée de la canne	115
Photo 13: Remontée saline sur jeunes cannes.....	115
Photo 14 : Canal pour irrigation par siphons.....	116
Photo 15 : Irrigation avec tuyau souple	116

Photo 16 : Irrigation de surface d'une jeune canne	Photo 17 : Échantillonnage de la canne à sucre pour	
.....		122
Photo 18 : Récolte de canne à sucre brûlée ; les chargements des camions sont pesés pour obtenir la biomasse de chaque parcelle	..... 123	
Photo 19 : Vue d'ensemble d'un champ de canne, d'un canal d'irrigation et de l'usine avec un tas de bagasse et la chaudière	..... 143	
Photo 20 : Variété de canne à haut potentiel de fibre développée en Guadeloupe (REBECCA/CIRAD)	..... 150	
Photo 21 : Feuilles de Typha récolté et en séchage	..... 155	
Photo 22 : Récolte de Typha par les femmes villageoises en bordure du Lac	..... 156	
Photo 23 : Charbon réalisé à partir de la biomasse séchée de typha (Cissé, 2017)	..... 157	
Photo 24 a et b : Champs d'oignons et d'aubergines en cultures associées des petits producteurs le long du canal (CSS, 2010)	..... 166	
Photo 25 a et b : Parcelle d'aubergine d'un producteur riverain avec un kit de micro-irrigation (CSS, 2017)	.....167	
Photo 26 : Mare permanente installée pour les éleveurs (CSS)	..... 169	
Photo 27 : Enherbement des plans d'eau (a) et (b) curage à la pelle mécanique d'un drain (CSS)	..... 174	
Photo 28 : Jauge limnimétrique sur le plan d'eau du lac (CSS)	..... 174	

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	6
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	8
AVANT-PROPOS	11
DEMARCHE SCIENTIFIQUE	12
INTRODUCTION GENERALE	14
I. Cadre théorique de l'étude dans le Delta : les principaux concepts	15
II. Problématique et question principale	22
III. Justificatifs	23
IV. Objectifs et hypothèses de départ	24
V. Méthodologie	24
Première partie : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET HISTORIQUE DE LA PRATIQUE DE L'IRRIGATION DANS LE DELTA	27
CHAPITRE 1 : Analyse Physique et des systèmes de production dans le Delta	31
I. Présentation de la zone d'étude : zonage, climat et réseau hydrologique	31
I.1. Végétation	31
I.2. Zonage administratif de l'agriculture irriguée du Delta	32
I.3. Réseau hydrologique	33
I.4. Température et pluviométrie	35
I.5. Evaporation et Ensoleillement	36
II. Dynamique des sols de la zone	38
III. Présentation des principaux systèmes de production hydro-agricoles identifiés	42
III.1. Typologie de l'ISRA (1998-2003)	42
III.2. Typologie des systèmes irrigués sahéliens selon l'ARID	43
III.3. La typologie simplifiée à travers le SDAR (Ndiaye, 2013)	44
CHAPITRE 2 : Analyse historique de l'irrigation dans le Delta	46
I. La Vallée et le Delta avant la colonisation : une agriculture de décrue dans des royaumes disputés	46
II. La période coloniale jusqu'aux indépendances (1800-1960)	47
III. La période post coloniale jusqu'à l'avènement des barrages (1960-1985)	51

IV. La période du début de l'après barrage jusqu'aux changements majeurs de politique agricole (1985-1994)	52
V. La période post dévaluation à celle des crises alimentaires (1994-2008)	53
VI. Période récente de renouveau des politiques publiques : de la mise en place du GOANA au PRACAS (2008-2020)	54
CHAPITRE 3 : Analyse transversale des principales problématiques soulevées par les données historiques	58
I. Evolutions chimiques des sols : trop peu de matière organique et salinité	58
II. Evolutions des nappes et plans d'eau : salinité et problématique centrale du drainage agricole	60
III. Evolutions des infrastructures, aménagements et organisations hydro-agricoles	64
IV. Les systèmes d'irrigation	69
V. La Recherche-Développement-Vulgarisation : des acquis techniques faiblement vulgarisés	72
VI. La gestion du foncier rural : un facteur bloquant de l'investissement agricole	74
VII. Les migrations autour du Delta	76
VIII. Evolution du modèle économique national, base des décisions et actions	77
CHAPITRE 4 : Les deux principaux systèmes de productions dans le Delta et leurs évolutions possibles à court et moyen terme	80
I. Synthèse des principaux résultats observés	80
II. Caractérisation des deux principaux systèmes de production agricole irriguée dans le Delta.	84
III. Scenarii projetés à court et moyen terme et propositions de correction	86
CHAPITRE 5 : Orientation des investissements productifs : premier niveau de correction structurelle	90
i. SCHEMA FONCTIONNEL des investissements prioritaires de l'agriculture irriguée	90
ii. Perspectives d'évolution des systèmes de production irriguées sous LE scénario 3	91
iii. Schémas détaillés des Investissements prioritaires 1 et 2 et de leurs cibles	92
iv. Objectifs attendus du scénario 3 après investissements prioritaires 1 et 2	93
v. FINANCEMENT LOCAL et NATIONAL DU FONCTIONNEMENT DE L'AGRICULTURE IRRIGUEE	95
Deuxième partie : LES MUTATIONS TECHNOLOGIQUES NECESSAIRES A UNE IRRIGATION EFFICIENTE DANS LE DELTA : PRATIQUES ET OUTILS D'AIDE A LA DECISION PERTINENTS	99
CHAPITRE 6 : Salinité et drainage des sols : approche pratique de lessivage des sels solubles	102
I. Généralités ET Historique de la pratique du lessivage à la CSS	103

II.	Généralités sur le lessivage des sels solubles	105
II.1.	<i>Définition du lessivage</i>	105
II.2.	<i>Les différents modes de lessivage à la C.S.S</i>	105
III.	Mise en œuvre du système de lessivage par submersion contrôlée et assec	106
III.1.	<i>Préparation de la parcelle</i>	106
III.2.	<i>Cycle de lessivage :</i>	108
III.3.	<i>Suivi au cours des phases de submersion et d'assec</i>	110
IV.	Essais de lessivage sous culture rizicole : UNE ALTERNATIVE POUR LES PETITS EXPLOITANTS	111
V.	Technique des irrigations d'appoint lessivantes sur parcelle sous canne à sucre	114
V.1.	<i>Matériels et méthodes</i>	114
V.1.1.	Mesure de la salinité des sols à la CSS	114
V.1.2.	Choix du domaine d'étude	115
V.1.3.	Historique des rendements et des pratiques sur parcelles à salinité résiduelle	115
V.1.4.	Suivi du système d'irrigation gravitaire par tuyau souple	116
V.2.	<i>Résultats et discussions</i>	116
V.2.1.	Résultats du suivi des augmentations de fréquence d'irrigation	116
V.2.2.	Estimation de consommation en main d'œuvre des systèmes d'irrigation	118
 CHAPITRE 7 : Efficience des systèmes d'irrigation de surface : optimisation des pratiques à l'aide des calendriers d'irrigation générés avec AquaCrop		
I.	Méthodologie	122
I.1.	<i>Données parcellaires</i>	122
I.2.	<i>Données Satellite</i>	124
I.2.1	Produits dérivés de Sentinel 2 et suivi de la croissance de la canne à sucre	124
I.3	<i>AquaCrop</i>	124
I.3.1	Description du modèle	124
I.3.2	Assimilation du modèle	126
I.3.2	Procédure de calibration	127
II.	RESULTATS	128
II.1.	<i>Comparaison entre les données de fCover issus des images satellitaires et simulées</i>	128
II.2.	<i>Comparaison entre les données de biomasse sèche simulées et observées aux champs</i>	129
II.2.1	Résultats sur sols argileux	130
II.2.2	Résultats sur sols argilo-limoneux	131
II.2.3	Résultats sur sols limoneux	132
II.2.4	Paramètres de la culture	132
III.	Calendriers d'irrigation optimaux et améliorés	134
III.1.	<i>Calendrier actuel</i>	134
III.2.	<i>Calendrier amélioré</i>	135

IV. Conclusion et perspectives	136
CHAPITRE 8 : Une approche innovante pour asseoir une gestion durable des aménagements hydro-agricoles dans le Delta : le Nexus Eau-Aliment-Energie	138
I. Etude de cas : le modèle de production intégrée de la CSS	143
<i>I.1 Volet Aliments et Energie du Nexus à la CSS</i>	<i>143</i>
<i>I.2. Autres modèles Nexus possibles mettant l'accent sur l'énergie : canne énergie et irrigation avec l'eau de drainage</i>	<i>149</i>
II Quel modèle de production Agro-énergétique futur chez les petits producteurs	151
<i>II.1 Petits producteurs sur des terrains limitrophes de la CSS avec réutilisation optimisée des eaux usées</i>	<i>152</i>
<i>II.2 Petits producteurs plus éloignés de la CSS : canne villageoise et valorisation énergétique du Typha</i>	<i>153</i>
Troisième partie : OPERATIONALISATION DE LA GIRE : UNE STRATEGIE DURABLE DES SYSTEMES IRRIGUES DANS LA ZONE DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	160
CHAPITRE 9 : Quelle option pertinente pour la préservation des systèmes agricoles dans le delta : une GIRE opérationnelle et adaptée au contexte local	163
I. Exemple type d'une problématique locale : maraichage et arboriculture en périphérie des canaux de la CSS avec piratage du réseau d'irrigation	165
II. Quelle solution durable à ces types de problématiques identifiées ?	169
III. Opérationnalisation de la GIRE : Des outils...pour l'Action	173
IV. Opérationnalisation de la GIRE : des Objectifs aux Outils et aux Résultats	177
V. Hypothèses et scenarii possibles à court et moyen termes à travers cette approche	180
CHAPITRE 10 : Approche complémentaire obligatoire à la GIRE : élaboration d'une stratégie de renforcement de capacités à l'intention des acteurs du secteur de l'eau agricole dans le Delta	183
I. Un processus intégrateur et inclusif	185
II. Proposition d'un modèle de renforcement des compétences et de structure de formations	186
III-Synthèse des données issues du questionnaire proposé	188
CONCLUSION GENERALE	191
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	194
<i>Bibliographie référencée dans le texte</i>	<i>194</i>
<i>Bibliographie consultée et non référencée</i>	<i>204</i>
TABLE DES ILLUSTRATIONS	208
<i>Liste des tableaux</i>	<i>208</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>209</i>

<i>Liste des cartes</i>	210
<i>Liste des photos</i>	210
TABLE DES MATIERES	212
ANNEXES	217
<i>Annexe 1 : Présentation sommaire du PRACAS dans le PSE</i>	218
<i>Annexe 2 : Liste des principales entreprises agricoles du Delta</i>	218
<i>Annexe 3 : Synthèse historique de l'évolution de la situation du Delta</i>	219
<i>Annexe 4 : Programme prévisionnel de gestion des côtes du fleuve Sénégal en juin 2019 (OMVS)</i>	220
<i>Annexe 5 : principes directeurs d'une gestion intégrée des ressources en eau</i>	221
<i>Annexe 6 : Questionnaire d'enquête pour les besoins en personnel qualifié des entreprises agro-alimentaires</i>	224
<i>Annexe 7 : Synthèse des recommandations et propositions de formation de l'ISEP de Richard Toll</i>	227

ANNEXES

Synthèse sur le Programme d'accélération de la cadence de l'agriculture sénégalaise

Le Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) est aligné sur le pilier 1 du PSE portant sur la transformation de l'économie et la croissance. L'objectif du PRACAS est d'atteindre, la sécurité alimentaire et nutritionnelle du pays et le développement des exportations agricoles sur une base durable. A cette fin, il vise à produire : i) 1,6 millions de tonnes de riz paddy ; ii) 350 mille tonnes d'oignons iii) 157 mille tonnes de fruits et légumes de contre saison exportés, iv) 1 million de tonnes d'arachide par année. Il s'articule autour de cinq (5) axes stratégiques d'intervention à savoir : (i) Axe 1. La modernisation de l'exploitation agricole familiale à travers la formation professionnelle des agriculteurs et la mise à leur disposition d'un financement et d'un équipement agricole adaptés ; (ii) Axe 2. L'émergence d'un entrepreneuriat agricole et rural basé sur une synergie intelligente entre l'agro-industrie et l'agriculture familiale, respectueuse de l'environnement, soucieuse de l'adaptation aux changements climatique ; (iii) Axe 3. L'organisation des filières commandée par l'aval ; (iii) Axe 4. L'implication des jeunes et des femmes dans le secteur agricole avec la mise en place de fermes agricoles génératrices d'emploi et un renforcement des connaissances techniques et des équipements adaptés ; (v) Axe 5. La résilience des populations vulnérables à travers la diversification des productions et la satisfaction des besoins en céréales au niveau national.

Le coût global du PRACAS est de 581 milliards de FCFA réparti comme suit : autosuffisance en riz : 424,7 milliards FCFA (73%), optimisation des performances de la filière arachide 92 milliards F.CFA (16%), autosuffisance en oignon 20,9 milliards FCFA (4%), et enfin développement de la filière fruits et légumes 43,50 milliards FCFA (7%).

Résultats : projets d'investissement et des réformes dans le secteur agricole et dans les autres secteurs ayant des points d'application sur le développement agricole (maîtrise de l'eau, réformes favorables aux investisseurs privés) vont contribuer à la réalisation des objectifs du PRACAS (volet agricole du PSE) à savoir : i) la mise en place de 100 à 150 projets ciblés sur les filières à haute valeur ajoutée agricole et d'élevage, un des projets phares du PSE, afin de tripler le volume d'exportation pour positionner le pays en exportateur majeur de fruits et légumes et de développer en même temps les filières d'élevage clés (lait et aviculture) ; ii) la création de trois (03) zones greniers/corridors céréaliers visant le développement et l'intensification de bassins agricoles irrigués pour réduire le déficit de la balance commerciale sur les cultures céréalières (mil, riz et maïs) ; et iii) l'établissement de trois (03) pôles de transformation agroalimentaire (agropoles intégrées) pour le développement d'une agro-industrie à haute valeur ajoutée (transformation des fruits et légumes, des huiles, des produits laitiers, des céréales, de l'aviculture).

Il s'agira aussi de promouvoir l'entrepreneuriat des jeunes et le développement des compétences nécessaires le long de la chaîne de valeur agricole afin d'atteindre l'objectif de transformation structurelle du secteur, une façon de contribuer à la croissance inclusive. Cela permettra entre autres (i) aux centres de formation d'être en phase avec les besoins en ressources humaines de leur région ; (ii) de promouvoir les innovations technologiques nécessaires à la transformation des produits agricoles ; (iii) d'inciter la création d'entreprises agricoles et agro-industrielles par les jeunes et (iv) la facilitation de l'accès au financement.

Annexe 1 : Présentation sommaire du PRACAS dans le PSE

Denomination Entreprise	Localisation	Date Installation	Nombre Employes	Type de Speculation	Superficie Affectee	Superficie Cultivee	Type Irrigation	Destination de la production	Longueur Chenal
C.S.S (Compagnie Sucriere Senegalaise)	C. Richard Toll	1971	7500	Canne a Sucre	15000 ha	11300 ha	gravitaire et goutte à goutte	Nationale	400 km
Vital	C.R. Mbane	2009		Riz et Maraichage (Ognon, patate douce)	6.000 Hectars	60 Hectars (15ha riz)	Pivot	Nationale	3 km 500
Temey Agro	C.R. Mbane	2007	105 saisoniers et 50 permanents	manioc, ognon, patate, arachide, meullon	1000 hectares	50-80 hectares	aspersion goutte a goutte	Nationale	1KM 500
Exploitation Agropastoral Sanosy (EAPS)	C.R. Mbane	2009	25 a 30 saisoniers; permanents 10	ognon	1500 hectares	50 a 200 hectares	Irrigation gravitaire, aspersion et localisée type goutte à goutte et 2 pivot de 50 ha	nationale et internationale	1,4 km
Ferlogomme	C.R. Mbane	2005	3 saisoniers et 5 permanents	Cultures biologiques : oignons, piments, manguiers, papayers	160 hectares	40 hectares	Irrigation localisée type goutte à goutte et T-Tape	nationale et internationale	3,200 km
Toll Jom	C.R. Mbane			Ognon vert botte, asperges vertes, patate douce, poivron et maïs main	700 hectares	250 hectares	Rampe irrigation sur petit pivot maraicher	Internationale	
Senegindia	C.R. Mbane			Cultures maraichères et arboricoles (à définir)	5600 ha			Nationale	
Agrina ferme Foss	C.R. Syer	1996	8 a 30 saisoniers; 5 permanents	Cultures maraichères (pastec, piment)	5000ha	1200ha	aspersion-raie	nationale-internationale	100m
Agricola	C.R. Syer	1990	30 saisoniers; 7 permanents	Cultures maraichères (tomate, piment, ognon, chou, obergine)	50 ha	25ha	aspersion	nationale	pompe directe sur le fleuve
Goe Senegal	C.R. Syer	2008	3 saisoniers et 3 permanents	manguier et agrumes	200 ha	28ha	goutte a goutte	nationale et internationale	pompe directe sur le fleuve
ANIDA (Agence National D'Insertion et de Developpement Rural) ex REVA	C.R.Keur Momar Sarr	2013	40 a 100 saisoniers et 105 permanents	Cultures maraichères (tomate, obergine, pastec, piment, mellon, ognon, niebe, papaye, mais,	100ha	70ha	aspersion (temporelle); goutte a goutte	nationale et internationale	200m
SEPAM (Societe Exploitation des Produits Agricoles et Maraichers)	C.R.Keur Momar Sarr	??	100 a 150 saisoniers et 7 permanents	Cultures légumières et plus particulièrement tomate cerise et haricots verts + melon et courge	1000 ha	250 ha Haricots 24 ha ; tomate cerise 50 ha ; melon 70 ha et autres petits produits	Localisée aspersion et gravitaire goutte a goutte	Internationale	300m (tuyau)
West Africa Farm	C.R.Ngnith	2011	120 saisoniers et 17 permanents	salade ognon-radis	288 ha	180ha	aspersion (pivot)	Internationale	4,5 Km
SENHULE	C.R.Ngnith		A creer 2.890 saisoniers et 1.010 permanents	Riz pour le lessivage des sols sales et Tourmesol	20.000ha	10.000ha	Par Aspersion Par Irrigation a la raie	Nationale et Internationale	6km
SOCAS	C.R. Diama	1968		Tomate	600 ha	600 ha	multiples	Nationale	
GDS (Grands Domaines du Senegal	C.R. Gandon	2003	996 saisoniers et 306 permanents	tomate, orais doux, asperge en essaie, piment, poivron, mangue	431ha	100 ha	goutte a goutte	Europe-Senegal	
SCL (Societe de Cultures Legumieres)	C.R. Gandon et Fass		45 Saisoniers et 12 Permanents	Mais doux, patate douce, Butternut	350 ha	272ha	goutte a goutte		
SOLDIVE	C.R. Diama		30 employes	melon	100ha	110ha	goutte a goutte	Internationale	
CASL (Compagnie Agricole de Saint Louis du Senegal)	CR Diama	2013	200	Riz	3000 ha	2500 ha	gravitaire	Nationale	

Annexe 2 : Liste des principales entreprises agricoles du Delta

Evenements ou Situations Politiques Majeures (Impact sur l'agri irriguée)	Evenements hydro/climat/pédo avec influences sur l'agri irriguée	Infrastructures et Projets majeurs Hydro-agri-environnementales	Evenements socio-économiques avec impact sur l'agri irriguée delta	Structures majeures créées	Année- Période	cultivées OP(65%vallée)	Surfaces CSS (ha)
Royaumés (Walo, Djoloff) et guerres tribales avec les Maures Trarza			Période des grands royaumes dont le walo sur l'actuel zone du Delta		MA- 1560		
Période de la Traite des Esclaves avec les Amériques	Cruets et decruets avec agriculture céréalière et légumière auto-suffisante sur des milliers d'hectares	Inexistence d'infrastructures hydro-agricoles et d'une histoire d'hydraulique agricole- simple irrigation d'oasis sahéliens	Dépeuplement du Delta-Famines- Comptoirs commerciaux_ regression		1560-1802		
Indépendance de Saint Domingue			Premier recrutement d'actifs agricoles en irrigué-Embryon d'une agriculture irriguée		1804		
Début timide de la colonisation agricole puis vrai démarrage sous l'impulsion du Baron Roger	Remplissage de bassins réservoirs et irrigation Noria (origine Egypte)	Installation des jardins expérimentaux à Richard Toll (Jardinier Richard)			1804-1824	400	
Départ du Baron Roger du Sénégal-Cout d'arrêt de la colonisation agricole		Installation colons européens avec des exploitations individuelles	Echec de la tentative d'extension de cette méthode le long du fleuve	Société d'Agriculture pour la recherche	1826-1831	6 500	
Conquête militaire de la vallée avec Faidherbe-Fin du royaume du walo			Massacre de populations-travaux forcés- 2 ^e phase de regression		1832-1865		
Mise en place d'une politique coloniale de modernisation de la ville de St Louis		Construction barrage de Kassack actuel barrage de Makhana et usines d'eau	Besoins en eau potable et d'arrosage pour la ville de saint Louis		1865-1886		
			Comité d'études historiques et scientifiques de l'AOF		1915-1925		
2 ^e Période de colonisation agricole accès sur la culture de l'arachide		Création de la Station Expérimentale Agronomique de Bambey (1921)	Premières études coloniales en vue de l'aménagement du bassin	Union Hydroélectrique Africaine (Bordeaux)	1927		
Période d'administration coloniale- Politique vouée au commerce			Installation des sociétés coloniales européennes(dennrées, import...)		1870-1960		
Politique de substitution des investissements vers le fleuve Niger		Introduction de la submersion contrôlée (origine Delta du Mékong)	Premier projet hydro-agricole grandiose de l'ingénieur Belime	Création Office du Niger	1930		
Fort appui à la filière arachide au détriment des cultures vivrières Delta			Baisse stock vivrier et importation de 60 000 T de riz d'Indochine	MEFS	1935		
				MAS	1937		
		Début Suivi pédologique des sols sénégal	Fort demande en denrées agricoles		1939		
		Début casier expérimental rizicole	Déficit vivrier important.	ORSC	1944	120	
		Aménagements coloniaux (1 ^{er} phase)	Fort culture de décrue (1946 à 1971)	Ministère Outre Mer	1946	600	
		Pont Barrage Rd Toll (fluviale)			1947	600	
		Premier Centre de culture Rd Toll	Emplois agricoles salariés	ORTAL	1953	1 500	
	Intrusion eau marine annuelle en période de décrue plus ou moins intense selon les années (sèches ou non)-Existence de nappes et sols salés	Mise en service station de pompage principal d'irrigation (encore utilisée par la CSS)	Recherche scientifique intense sur les sols du delta et leurs aptitudes à l'irrigation-la salinité-les nappes	ORSTOM-IRAT-FAO	1954-1990	2 100	
	Remplissage correct du lac de Guiers	Digue de K M Sarr Lac de Guiers			1956	4 374	
		Amélioration submersion contrôlée (2 ^e)	Riziculture en Régie Nationale	SDRS -Université de Dakar	1957	6 000	
		Recherche et Experimentation sur la canne à sucre à Rd Toll (19 spécialistes)	Installation d'une administration nationale et locale avec recrutement	OAD-IRSA-IRAT-FAO	1960	6 000	
Indépendance	Irrigation par submersion contrôlée	Endiguement du Delta		ENCR-SATEC	1964	6 000	
Intensification filière arachide		Aménagements SAED (2 ^e améliorés)	Créations zones pionnières	SAED-BNDS-CPSP-ONCAD	1965	6 500	
Encadrement total OPA			Etudes sur les terroirs et dynamiques sociales au sénégal-ORSTOM-IRSA		1967	9 650	
Fin prix préférentiel de la France pour l'arachide sénégalais			Echec casier rizicole SDRS pour raisons multiples		1968	8 800	
	Secheresse 1		Invasion des oiseaux mange-mil	SOCAS	1969	9 100	
Choix politique de produire du sucre local (privatisation dès le début)		Tests puis abandon de l'irrigation par aspersion à la CSS (vents violents)	Début transformation casier rizicole en casier scurrier (par étape)	SDRS vers CSS	1970	9 500	120
			Suite de rizicultures sur les Colonnats	Africarice	1971	10 000	2500
Besoins urgents d'une politique de maîtrise de l'eau pour produire plus	Secheresse 2	Aménagements PIV et PIP sommaires- Aménagements CSS avec drains enterrés	Famines et Exode Rurale/Emigration-3 ^e phase de regression	OERS vers OMVS	1972	11 000	2500
		Grands aménagements tertiaires (3 ^e)	Investissements importantes	CILSS-DGRST	1973	11 000	2800
Conférence mondiale alimentation ONU	Problématique qualité des eaux	Reprofilage canal de la Taouey (Etat-CSS)- Monographie du fleuve Sénégal	Faible à nulle volumes de cultures de décrue	Agrhymet- ISRA	1974	9 900	2900
Etude des projets grands barrages	Fort intrusion eau marine	1 ^{er} expérience de goutte à goutte à la CSS- Mise en place des CUMA (FAO)	Foyers de jeunes du Walo très autonome de la SAED	ASESCAW-FPA	1975	8 600	2993
Scémas directeur d'aménagement SAED		2 ^e barrage sur Taouey (lacustre)	Protection des eaux d'irrigation CSS- Etude socio économique de la vallée	SAED sur toute la vallée	1980	9 800	4586
Loi sur le domaine national		Cartographie des sols Delta-ORSTOM		SAED sur toute la vallée	1981	10 386	5051
		Aménagement Unité Autonome d'Irrigat ^o	Projet Ndombo-Thiago (LIA)	ENSA	1982	10 709	5100
		Ouvrage anti-sel kheune (Armeé-CSS)-2 ^e essai irrigation sous pivot CSS	2 ^e phase extension CSS		1983	12 314	5755
PASA-NPA- creation GIE	Secheresse 3 (effets cumulatifs)		Introduction ratée Culture attelée	BM-FMI	1984	12 300	5856
Plan céréalière	Arrêt définitif de l'intrusion marine	Mise en service Diama	Très fort endettement pour réaliser les barrages (poids de la dette)	Cellule Après barrage-CSE	1986	12 758	6440
Désengagement SAED: forte réduction appui paysans et déflation agents		Avec la mise en service des deux barrages le potentiel irrigable du bassin passe de 70 000 à 375 000 ha (3 pays)	Passage de zones pionnières à zones de terroir sous gestion des CR	CNCAS (crédit à 15%)	1987/1997	12 877	6782
Projet TGI-Irrigation IV	Fort réduction décrue/Maîtrise cotes du fleuve dans le Delta	Mise en service Manantali-Mission étude Canal du Kayor	Crise politique (crise sociale) et baisse prix du riz-invasion acridien	SNTI (tomate)-CORAF	1988	12 877	6782
Intégration de la dimension environnementale dans la recherche		Endiguement Lac de Guiers pour extension CSS-Projet Equesen	Crise sénégal-mauritanien (80 000 réfugiés et rapatriés dans le Delta)		1989	12 937	6782
Politique de diversification agricole		Première approche de double culture		Université de Saint Louis	1990	13 315	6782
Pan Directeur Aménagement intégré			Stagnation des aménagements		1991	13 865	7600
	Rehaussement de la nappe salée	Gestion haute de la cote de Diama	Baisse des investissements des bailleurs de fonds		1992	15 150	7600
	Sécurisation de la possibilité physique d'irriguer 120 000 ha	Réhabilitation Endiguement Rive Gauche (80 km et 8 ouvrages hydrauliques)	Projet avorté de revitalisation des vallées fossiles du Farlo	CNCR	1993	18 400	7600
Dévaluation du FCFA		Fin des études Canal du Kayor- Plan Directeur de Dev de la Rive Gauche	Explosion coût des intrants-Les paysans mettent en cause la viabilité de la riziculture irriguée (4 ^e phase...)	BAD	1994	18 500	7600
PASA-PISA		Projet PSI avec la SAED-IRSA-CIRAD-Coraf	Désengagement de l'aide internationale des camps de réfugiés	HCR	1995	18 500	7600
Loi sur la décentralisation			Décentralisation rurale-CR		1996	23 600	7600
Mise en place des POAS- Année de la relance de l'Agriculture sénégalaise	Sédimentation des plans d'eau	SAED et KU Leuven sur étude processus de salinisation dans la vallée	Endettement intenable des OPA	SOGED-Redevance eau-CNCAS (crédit baisse à 7%)	1997	23 800	7600
	Enherbement plan d'eau: salvinia	Recensement de l'agriculture ISRA		GDS (légumes export)	1999	21 764	7600
Accord ACP/UE				APIX	2000	22 453	7600
PNIR et PSAOP-Alternance 1			Schémas directeur d'aménagement	ANCAR	2001	18 670	7600
Politique pseudo-libérale	Baisse fertilité des sols		Chutes emblavures des PIV et PIP/dagrations physiques et pédo		2001/2007	18 760	7600
		Périmètres micro-irrigation réussis CSS		PINORD	2002	21 952	7600
Programmes spéciaux agricoles	Prolifération typha dans le Delta				2002-2012	21 952	7600
Code des investissements-LOASP	Problématique eau drainage	Entreprise agricoles (4 ^e phase)	3 ^e phase extension de la CSS		2004	22 945	7600
REVA			Choc pétrolier	West African Farm	2006	28 477	7840
		Fonds de maintenance des OHA	Conflits et désordre fonciers	SCL (légumes)	2007	26 066	8200
		Riziculture agrobusiness- Forte subvention de la mécanisation	Emeutes de la faim (crise alimentaire) en partie liés aux prix des denrées sur le marché mondial	PAM-ONG-FIDA	2008	33 137	8200
GOANNA-NEPAD				Senhulle-SENINDIA	2009	50 848	8200
Assurance Agricole		Reprise endiguement Lac PRÉFELAC- Essai irrigation de surface avec tuyaux souples	Crise énergétique (SENELEC-SAR)	OLAG	2010	55 000	8200
		Soutien à l'agriculture industrielle et investissement privé agricole (IPA)	Politique protectionniste des filières agricoles	FONSIS-CASL (riz)	2012	58 000	8500
Alternance 2-PSE-PRACAS	Variabilité et imprévisibilité climatiques croissantes	Etude SOGED de la suite de l'endiguement jusqu'à Dagan	Réforme foncière pour attirer et sécuriser l'agriculture privée	FONGIP-3PRD	2013	65 000	9021
Millenium Challenge-PDMAS		Recrudescence de l'IPA	Léger mieux des filières riz et oignon	PDIDAS	2016	85 000	10 300

Annexe 3 : Synthèse historique de l'évolution de la situation du Delta

Sur la base des expériences des hivernages précédents et conformément au programme annuel de 2019, la CPE a arrêté, pour la période du 28 juin au 21 août 2019, le programme suivant

Maintenir le niveau de la retenue de Diama à la cote au moins 2,10 m IGN tant que la cote moyenne mobile du fleuve Sénégal sur 05 jours sera inférieure à 2,92 m à l'échelle de Bakel (14,08 m IGN) ;

Dès que la cote moyenne mobile du fleuve Sénégal sur 05 jours aura atteint 2,92 m à l'échelle de Bakel (14,08 m IGN), abaisser progressivement le niveau de la retenue de Diama de façon à atteindre 1,50 m IGN, si nécessaire, quand la cote moyenne mobile du fleuve Sénégal sur 05 jours sera à 4,10 m à l'échelle de Bakel (15,26 m IGN) ;

Maintenir le niveau de la retenue de Diama à 1,50 m IGN pendant toute la période de crue.

Annexe 4 : Programme prévisionnel de gestion des côtes du fleuve Sénégal en juin 2019 (OMVS)

Pour atteindre une gestion équitable, efficiente et durable des ressources en eau en tenant compte des expériences nationales et internationales, la politique régionale retient les principes directeurs suivants :

- Le partage équitable et raisonnable des ressources en eau des cours d'eau internationaux et des aquifères partagés, principe selon lequel chaque pays a droit à une part équitable et raisonnable des ressources en eau pour atteindre le plus grand bénéfice avec le moins de désavantages envers les autres pays ;
- La précaution, principe selon lequel l'absence de certitudes scientifiques ne doit pas amener un décideur à différer l'adoption de mesures visant à prévenir un risque sanitaire ou environnemental potentiel ;
- La prévention, principe selon lequel des mesures préventives doivent être prises dans toute activité humaine, car la présence même minimale de tout risque ou dommage sur l'environnement ne doit pas en être écartée ;
- L'information et la notification préalable, principe selon lequel toute activité susceptible de générer des dommages sur la santé humaine, animale et sur l'environnement doit être au préalable notifiée à l'administration et portée à la connaissance du public ;
- La réparation ou le principe du pollueur – payeur, principe selon lequel le responsable d'une pollution doit contribuer à financer la réparation des dégâts environnementaux causés ou susceptibles de l'être ;
- L'utilisateur-payeur, principe selon lequel les utilisateurs et bénéficiaires participent au financement du secteur de l'eau

- La bonne gouvernance des ressources en eau, principe selon lequel tous les acteurs doivent être impliqués et responsabilisés dans les processus d'élaboration et de mise en œuvre des actions communautaires pour une gestion équilibrée de leurs ressources ;
- **Le genre**, principe selon lequel l'intérêt et les contributions des femmes, des hommes et des couches vulnérables dans la société sont pris en compte dans la formulation des politiques, le développement des capacités, la planification, le développement et les opérations d'investissements dans le secteur de l'eau ;
- La subsidiarité, principe selon lequel la Communauté, hors des domaines relevant de sa compétence exclusive, ne traite au niveau régional que ce qui ne peut être traité, de façon plus efficace, au niveau des bassins transfrontaliers, au niveau national ou local ;
- La complémentarité, principe qui vise, dans une perspective d'intégration régionale, à exploiter au mieux les complémentarités des économies des Etats membres, sur la base des avantages comparatifs actuels ou potentiels de la Communauté ;
- La solidarité, principe qui vise à assurer la cohésion politique et sociale de la Communauté, par un soutien aux populations et aux zones les plus défavorisées, afin de supprimer progressivement les disparités ;
- La progressivité dans la mise en œuvre des mesures, pour tenir compte de la situation et des intérêts spécifiques de chaque Etat, comme de la nécessité d'opérer graduellement les ajustements opportuns ;
- Le partenariat, principe qui vise à rechercher les complémentarités et les synergies avec des organismes nationaux ou intergouvernementaux, les ONG, associations, ... intervenant dans le domaine des ressources en eau ;
- La coopération, principe qui vise à développer les relations entre Etats, organismes de bassins et organisations régionales en vue d'assurer une gestion intégrée et pacifique des ressources en eau ;
- La gestion par bassin hydrographique ou système d'aquifère, principe selon lequel le bassin hydrographique ou le système d'aquifère est le cadre approprié pour la planification, la mobilisation, la gestion et la protection des ressources en eau.

Annexe 5 : principes directeurs d'une gestion intégrée des ressources en eau

<p>Evaluation des besoins techniques en formation dans l'usage de l'eau agricole, cas des agro-industries dans le delta du fleuve Sénégal</p>

- 1- Coordonnées de la structure
 - ✓ Nom, raison sociale
 - ✓ Localisation
 - ✓ Adresse, téléphone, mail
 - ✓ Responsables enquêtés

- 2- Données techniques de base de la structure
 - ✓ Types de production (par période, par cycle)

 - ✓ Surfaces des productions annuelles
 - ✓ Besoins réels ou estimés en eau et par période
 - ✓ Système de culture (plein champs, serre, abris, rotation, assolement...)
 - ✓ Systèmes d'irrigation (raie, aspersion, goutte à goutte, tuyaux souples...)
 - ✓ Prise d'eau en tête de réseau (station de pompage, capacité, vanne, prise d'eau...)
 - ✓ Volume d'eau annuel utilisé par an pour l'irrigation
 - ✓ Part actuelle de la gestion de l'eau agricole sur les charges de la structure (en % des charges totales).

- 3- Personnel technique de la structure
 - ✓ Disponibles actuels en personnel technique par système d'irrigation (nombre, qualification, poste, ancienneté)
 - ✓ Organisation de la production : organigramme
 - ✓ Mode de recrutement du personnel technique
 - ✓ Evaluation du niveau d'entrée du personnel (diplômes, test, promotion interne...)
 - ✓ Formation continue de ce personnel (type, durée, objectifs)
 - ✓ Evaluation du niveau actuel de ce personnel (très faible, faible, correct, élevé)

- 4- Estimation des besoins en formation sur l'eau agricole
 - ✓ Identification des déficits actuels (technique, planification, management des hommes, approche économique, ...)
 - ✓ Origines de ce déficit observé (formation insuffisante, technologie en mutation continuuel, personnel non formé, réorganisation ou changement d'activité.)
 - ✓ Estimation de la durée de formation continue par type d'activités pour corriger ce déficit (Nombre de mois, semaines...)
 - ✓ Mode de formation idéale (interne, externe nationale, externe internationale)
 - ✓ Mesures d'accompagnement prévus à ces formations (motivations, primes, nouveau poste, documentation scientifique...)

- 5- Synthèse des programmes de formation retenue à valider pour chaque structure : besoins en nombre/an (liste non exhaustive) :
 - ✓ Gestion globale des périmètres irrigués
 - Pilotage station de pompage d'irrigation

- Pilotage station de pompage d'irrigation
- Maintenance et réparation station de pompage (mécanique, électricité, électromécanique, informatique...)
- Suivi et pilotage des stations météo (manuel ou automatique)
- Technicien maintenance station météo
- Suivi du réseau principal et gestion des ouvrages vannés
- Entretien du réseau d'irrigation ou de drainage (curage, reprofilage)
- Conducteur des engins d'entretien : pelles, faucardeurs, barques...
- Installation et suivi de piézomètres pour suivi de la nappe phréatique
- Conducteur appareil installation et entretien des drains enterrés
- Pilotage des logiciels d'irrigation (ex : AquaCrop, Cropwat ...)
- Gestionnaire de forages
- Puisatier-maçon
- Entretien panneau solaire pour pompage

✓ Gestion spécifique des parcelles agricoles

- Chef de chantier irrigation (organisation des chantiers d'irrigation...)
- Formation aux métiers de base en irrigation (aiguadiers, irrigateurs, opérateurs...)
- Conducteur de pivot, rampes mobiles, station de pilotage goutte à goutte, tuyaux souples, ...
- Opérateur de la fertigation (fertilisation automatique) des cultures irriguées
- Mécanicien maintenance des appareils d'irrigation
- Electromécanicien et électriciens en pompe d'irrigation
- Opérateur prélèvement échantillon eau (irrigation, drainage, piézomètre...)
- Management des techniciens agricoles en irrigation
- Management des ouvriers agricoles en irrigation
- Chauffeur spécialisé périmètre irrigué

✓ Gestion des aspects environnementaux de l'irrigation/drainage

- Analyste et suivi eau prélevé (chimique, microbiologie, physique...)
- Qualité et Hygiène en irrigation (EPI, procédures et normes)
- Gestion des eaux usées agricoles (traitement, réutilisation, lagunage...)
- Gestion des déchets solides issus de l'irrigation/drainage

6- Proposition modèle de formation et Evaluation financière des formations proposées (valider le ou les modèles appropriés à vos besoins)

✓ Scénario A : centre de formation nationale dédié aux métiers de l'eau agricole

- Création du centre (entre Saint Louis et Dagana de préférence)
- Dotation en matériels et formateurs
- Coût individuel et par type de formation

- Nombre de personnes à former/an
 - Coût annuel de la formation aux métiers de l'eau agricole
- ✓ Scénario B : formation en interne (structure) avec mission expertise d'un cabinet sélectionné
- Coût individuel de la formation
 - Demande de formation annuelle par structure
 - Demande de subvention (Etat, bailleurs, projet...)
 - Evaluation du coût annuel par structure
 - Evaluation du coût global annuel national
- ✓ Scénario C : Formation externe nationale dans les écoles e formation actuelle
- Evaluation spécifique de chaque besoin exprimé
 - Orientation du projet de formation vers la structure appropriée
 - Création d'un module, cours ou programme en relation avec le projet
 - Evaluation du financement de cette formation avec l'école
 - Financement ou subvention vers cette école pour prise en charge de cette demande

Annexe 6 : Questionnaire d'enquête pour les besoins en personnel qualifié des entreprises agro-alimentaires

Le Sénégal a défini ses priorités de développement économique et social à travers le Plan Sénégal Emergent (PSE) qui a pour ambition le redressement productif du pays. Pour ce faire le Gouvernement du Sénégal a pris un certain nombre de mesures visant à doter l'économie de ressources humaines capables de porter la compétitivité des entreprises.

L'éducation et la formation, en particulier la formation technique et professionnelle a été identifiées comme des déterminants majeurs pour atteindre cet objectif et il existe aujourd'hui une réelle volonté des pouvoirs publics d'investir massivement dans ce domaine pour relever le défi.

Afin de faire du sous-secteur de l'Enseignement supérieur et la Recherche le véritable levier du développement socio-économique du pays, le Président de la République a, lors du Conseil présidentiel sur l'avenir de l'enseignement supérieur du 14 août 2013, pris comme première décision de « réorienter le système d'enseignement supérieur vers les sciences, la technologie, les formations professionnelles courtes ». Cette décision corrélée à celle n°7 visant à « renforcer la carte universitaire pour favoriser l'accès, diversifier l'offre de formation et assurer la qualité de l'enseignement supérieur » explique la décision du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche de mettre en place des Instituts supérieurs d'Enseignement professionnel (ISEP) dans toute l'étendue du territoire.

Après l'ISEP de Thiès créé en 2012, la mise en place d'autres ISEP dans les régions de Dakar (à Diamniadio), Ziguinchor (à Bignona), Matam (à Matam) et Saint Louis (à Richard Toll) et leur articulation en réseau (RISEP) constitue un pas important qui conduira à la

définition d'une nouvelle carte de l'Enseignement supérieur professionnel au Sénégal.

L'ISEP de Richard Toll, créé par décret n° 2016-814 du 14 juin 2016, a pour vocation, comme tous les autres ISEP, d'offrir des programmes professionnels courts, (Technicien Supérieur BAC+2), en fonction de la demande et des besoins du milieu socio-professionnel et du bassin d'emploi. L'ISEP devra entretenir des liens étroits avec les employeurs et professionnels des entreprises qui seront invités à participer activement à l'élaboration et à la mise en œuvre des programmes et curricula.

La région de Saint-Louis à laquelle est rattachée Richard Toll est une zone à fort potentiel sur le plan de l'agriculture avec des terres aménagées et des potentialités hydriques importantes. Sa longue façade côtière ainsi que son climat sont favorables au développement des activités de pêche et d'élevage. Le gouvernement du Sénégal et les opérateurs économiques de la zone ont l'ambition d'en faire un « pôle territorial agroalimentaire émergent ».

L'étude de faisabilité, les études préliminaires et l'atelier de cadrage sur l'offre de formation de l'ISEP de Richard Toll ont permis, à partir des potentialités économiques et des besoins en ressources humaines de la région de St Louis, d'identifier les filières de formation présentées dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau : Filières potentielles de l'ISEP Richard Toll

DOMAINE	FILIERE	METIER / PROGRAMME
Agriculture	Gestion et exploitation d'activités agricoles	1. Techniques agricoles et agroindustrielles
	Gestion et exploitation d'activités horticoles	2. Techniques de Production horticole
	Agroéquipement	3. Technico-commercial en agroéquipement 4. Maintenance d'équipements et de matériels agricoles
	Gestion de l'eau	5. Techniques d'irrigation et de gestion et maîtrise de l'eau
Elevage	Gestion et exploitation d'activités agropastorales	6. Techniques de Gestion et conduite d'exploitation de production de viande et de lait
		7. Techniques de Gestion et conduite d'atelier avicole (chairs et œufs)
		8. Techniques de Gestion et conduite d'atelier apicole
Pêche et Aquaculture	Gestion et exploitation d'activités aquacoles	9. Techniques de production aquacole
		10. Maintenance des équipements et matériels de pêche
Agroalimentaire	Transformations agroalimentaires	11. Techniques de transformation de produits agricoles
		12. Techniques de transformations de produits pastoraux
		13. Techniques de transformations de produits halieutiques
		14. Techniques de contrôle et management de la qualité
		15. Maintenance des équipements de transformations agroalimentaires
	Marketing, Distribution, et commercialisation des produits agricoles et agroalimentaires	16. Technico-commercial de produits agricoles et agroalimentaires
		17. Logistique et distribution
Maintenance des équipements	18. Technicien en maintenance des équipements	
Tourisme	Gestion et exploitation d'activités touristiques	19. Techniques de Management de produits touristiques
		20. Agent de développement et de promotion touristique
		21. Techniques d'Organisation d'évènements

Dans la perspective du démarrage des enseignements-apprentissages de l'ISEP de Richard Toll plusieurs ateliers pour la mise en place des contenus des formations sont prévus en 2019, avec une forte participation des acteurs des milieux socio-économiques.

C'est dans ce contexte qu'un atelier d'analyse de situation de travail AST est planifié pour entamer le processus d'élaboration des programmes de formation de l'ISEP de Richard Toll.

L'Analyse de situation de travail – AST est la première des étapes du processus d'élaboration de programmes d'études selon l'Approche par compétences, APC. En effet, ce processus se caractérise, entre autres, par une importante participation de représentants professionnels du monde du travail.

À l'étape de l'analyse de la situation de travail (AST), l'équipe chargée de l'élaboration des programmes d'études s'attachera les avis de personnes occupant effectivement un poste de travail ou encadrant le titulaire du poste dans la profession ou le métier considéré.

La stabilisation définitive des dénominations des métiers à choisir pour le démarrage des activités d'enseignement-apprentissage de l'ISEP-RT est attendue des participants à l'atelier AST que la direction de l'ISEP compte organiser du **01 au 03 Février 2019**.

1-Objectifs de l'AST

11-Objectif général

L'atelier d'analyse de situation de travail a pour objectif d'obtenir les renseignements les plus pertinents et les plus exhaustifs possibles au sujet de la profession ou du métier et les qualités requises pour leurs exercices.

12-Objectifs spécifiques

L'AST vise les objectifs spécifiques suivants :

- décrire en détail les fonctions de travail des filières ciblées, notamment :
 - o les tâches rattachées à une fonction de travail ;
 - o les exigences particulières liées à l'exercice de la fonction ;
 - o la polyvalence souhaitable (pour l'ensemble des entreprises, grandes ou petites) ;
 - o le statut et la situation dans la hiérarchie de l'entreprise ;
 - o le degré de responsabilité ;
 - o les principales conditions de travail : rémunération, horaire de travail, santé et sécurité au travail, environnement, etc. ;
 - o les lois et règlements s'appliquant à la fonction ;
 - o l'évolution actuelle et prévisible de la fonction, et les causes de cette évolution ;
 - o le cheminement de carrière ;
 - o le niveau de formation actuel des personnes en emploi (nature des diplômes) et le profil de formation souhaité pour l'avenir par le marché du travail ;
 - o les besoins en formation continue du personnel en emploi actuellement.
- proposer des orientations pour le développement de programmes d'études par compétences dans les filières ciblées.

Annexe 7 : Synthèse des recommandations et propositions de formation de l'ISEP de Richard Toll

Prénom et Nom : Mor Talla SALL

Titre de la thèse : ACQUIS ET DYNAMIQUE DE L'IRRIGATION/DRAINAGE DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL ET A LA COMPAGNIE SUCRIERE SENEGALAISE : CONTRIBUTION A DES PRATIQUES INNOVANTES ET DURABLES PORTEES PAR UNE OPERATIONNALISATION DE LA GIRE

Résumé

Le Delta du fleuve Sénégal est une petite région humide dans une grande zone semi-désertique de l'Ouest Africain : le Sahel. Il regorge de nombreuses potentialités naturelles (eau de qualité, ensoleillement et évaporation exceptionnels) qu'une histoire pédologique, agricole et humaine tumultueuse mais complexe n'a jamais permis de mettre en valeur correctement. La zone à vocation historique pastorale et d'agriculture extensive de décrue, puis hydro-agricole, regroupe des acteurs multiples qui exploitent de manière inefficace et parfois avec des tensions, les ressources en eau du Fleuve et du Lac de Guiers. L'activité principale est devenue la culture irriguée avec une multitude de systèmes irrigués et une pratique variée de l'irrigation selon le type d'exploitation agricole : agro-industries ou entreprises relativement bien équipés ou exploitants familiaux isolés ou regroupés en périmètres.

Une analyse bibliographique nous a permis de mettre en exergue les faiblesses, contraintes et dysfonctionnements multiples des modèles agricoles de cette zone. La mise en œuvre de ces modèles a nécessité des investissements colossaux malheureusement incohérents, non encore rentabilisés pour la plupart et pour plusieurs raisons techniques, agronomiques, hydrauliques et socio-économiques. Une nouvelle approche est proposée comme correction fondée sur des investissements ciblés et efficaces et une meilleure gouvernance des ressources naturelles. Ces investissements devraient aider à trouver des solutions durables et rentables à la pratique du drainage agricole afin de rendre productive l'exploitation sur des sols salés et l'irrigation de surface sur sols lourds.

Des essais et tests multiples menés à la CSS ont permis de démontrer l'importance d'une approche inclusive et intégrée de la production agricole axée sur le Nexus Eau/Aliment/Energie mise en œuvre, une pratique opérationnelle de la GIRE et le renforcement des capacités des acteurs surtout les plus vulnérables. Cette coopération structurée entre les différents acteurs autour des sources d'eau semble être la meilleure voie pour parvenir à un modèle cohérent, durable et multifonctionnel apte à corriger rapidement les dysfonctionnements notés, à préserver durablement les ressources naturelles (sols et eaux) et à contribuer à la sécurité hydrique, alimentaire et énergétique de la zone. Le Delta pourra alors s'ériger en modèle de développement local intégré et durable à promouvoir dans la région du Fleuve.

Mots clés : Delta du fleuve Sénégal, ressources naturelles, systèmes irrigués, irrigation, drainage agricole, agro-industrie, investissements, GIRE, gouvernance, Nexus Eau-Aliment-Energie, durabilité

Name and first name : **SALL Mor Talla**

Thesis title : **ACHIEVED AND DYNAMICS OF IRRIGATION/DRAINAGE IN THE SENEGAL RIVER DELTA AND THE SENEGALESE SUGAR COMPANY: CONTRIBUTION TO INNOVATIVE AND SUSTAINABLE PRACTICES BY OPERATIONALIZING OF IWRM**

Abstract

The Senegal River Delta is a small humid region in a large semi-desert area of West Africa: the Sahel. It is full of many natural potentialities (quality water, exceptional sunshine and evaporation) that a tumultuous but complex pedological, agricultural and human history has never allowed to develop properly. The zone with a historical vocation of pastoral and extensive agriculture, first with a recession, then hydro-agricultural, brings together multiple actors who exploit the water resources of the River and Lake Guiers in an inefficient and sometimes tense manner. The main activity has become irrigated farming with a multitude of irrigated systems and a varied practice of irrigation according to the type of farm : agro-industry or relatively well-equipped companies or family farmers isolated or grouped in perimeters.

A literature review enabled us to highlight the weaknesses, constraints and multiple dysfunctions of the agricultural models in this zone. The implementation of these models has required colossal and unfortunately incoherent investments, most of which have not yet paid off for several technical, agronomic, hydraulic and socio-economic reasons. A new approach is proposed as a correction based on targeted and efficient investments and better governance of natural resources. These investments should help to find sustainable and profitable solutions to the practice of agricultural drainage in order to make farming on saline soils and surface irrigation on heavy soils productive.

Multiple trials and tests conducted at CSS have identified an inclusive and integrated approach to agricultural production based on the Water/Food/Energy Nexus implemented at CSS, an operational practice of IWRM and capacity building of stakeholders, especially the most vulnerable. This structured cooperation between the various stakeholders around water sources seems to be the best way to achieve a coherent, sustainable and multifunctional model capable of rapidly correcting the dysfunctions noted, sustainably preserving natural resources (soil and water) and contributing to water, food and energy security in the area. The Delta will then be able to establish itself as a model of integrated and sustainable local development to be promoted in the River region.

Keywords : Senegal River Delta, natural resources, irrigated systems, irrigation, agricultural drainage, agro-industry, investments, IWRM, governance, Water-Food-Environment Nexus, sustainability