



Haut Commissariat

PROJET DE GESTION
INTÉGRÉE DES RESSOURCES
EN EAU ET DE
DÉVELOPPEMENT DES
USAGES MULTIPLES DANS LE
BASSIN DU FLEUVE SÉNÉGAL
(PGIRE)



Note de cadrage – Revue documentaire

Etude pour l'évaluation des besoins pour
le contrôle du typha dans le delta du
fleuve au Sénégal et en Mauritanie

Christian Castellanet
Souleymane Diallo
Labaly Toure
Guillaume Boisset
Minh Cong Le Cuan

OCTOBRE 2018

Note de cadrage – Revue documentaire
Etude pour l'évaluation des besoins pour le contrôle du typha
dans le delta du fleuve au Sénégal et en Mauritanie

Sommaire

<i>I. Contexte et objectif de la note</i>	<i>3</i>
<i>II. L'extension du Typha dans le Delta du Fleuve Sénégal, impacts socio-économiques et écologiques</i>	<i>4</i>
<i>III. Hydrologie, gestion de l'eau et des infrastructures hydrauliques et extension du typha</i>	<i>16</i>
<i>IV. Ecophysiologie du Typha, déterminants de son expansion</i>	<i>24</i>
<i>V. Méthodes de contrôle du typha.....</i>	<i>30</i>
<i>VI. Synthèse et conclusion sur le contrôle du Typha</i>	<i>39</i>
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	<i>44</i>

I. Contexte et objectif de la note

Cette note de cadrage est la première étape de l'étude « évaluation des besoins de contrôle du typha ». Elle est basée principalement sur une révision de la documentation disponible, à la fois sur le plan de la littérature scientifique et des documents de projets et littérature grise sur les divers projets typha et sur la gestion intégrée des ressources en Eau au niveau de l'OMVS et des institutions nationales concernées.

Elle est le produit d'un travail collectif de l'équipe d'évaluation, chacun apportant sa perspective disciplinaire (Bio-écologie pour le Prof Souleyman Diallo, Géographie et socio-économie pour le Dr Labaly Toure, Hydrologie pour Guillaume Boisset, Techniques de gestion et contrôle pour Minh Le Cuan), mais avec un effort de synthèse important mais nécessaire puisque les aspects biologique, écologiques, socio-économiques et de gestion hydrauliques sont intimement liés dans la question complexe de l'expansion et du contrôle du Typha.

Limites et difficultés rencontrées

La littérature sur le typha est abondante mais dispersée, et l'accès aux documents de projet et au Centre de Documentation de l'OMVS n'a été possible que tardivement. Les experts ont donc dû absorber une grande quantité d'information dans un temps très court. Le résultat n'est donc pas parfait, mais il permet quand même de cerner l'état des connaissances et les principales questions que l'étude devra approfondir lors des prochaines phases de terrain, et en particulier lors de la prochaine mission, prévue durant la deuxième semaine de Novembre 2018. Ce sera également l'occasion de rencontrer les principales institutions et parties prenantes concernées.

II. L'extension du Typha dans le Delta du Fleuve Sénégal, impacts socio- économiques et écologiques

Eléments de contexte...

Depuis l'indépendance, les autorités sénégalaises ont fait de la promotion des aménagements hydro-agricoles dans le Delta et la vallée du Fleuve Sénégal, une priorité pour développer l'agriculture en la soustrayant des aléas climatiques ¹.

Jusqu'au début des années 1970, les systèmes de production dominants du delta reposaient sur l'exploitation complémentaire des ressources de la plaine inondable (cultures et pâturages de décrues), des cours d'eau et des mares (pêche, abreuvement du bétail) et des terres bordières sèches (pâturages et cultures sous pluies). La combinaison de ces diverses activités productives a été à la base d'un système de production agro-halio-pastoral dynamique (Gallais 1967 ; Schmitz, 1986 ; Ba 1986). Les cuvettes du delta, inondées annuellement par la crue, sont exploitées pour la pêche pendant la période des hautes eaux, puis en cultures et pâturages de décrue après le retrait des eaux (Lericollais et Diallo, 1980).

La configuration de la vallée alluviale, la nature des ressources ainsi que leurs formes d'exploitation définissent d'amont en aval de grandes aires où les activités productives se combinent avec des poids différents : cultures pluviales et élevage dans la haute vallée ; cultures de décrue, cultures pluviales, élevage et pêche dans la moyenne ; pêche et élevage dans le delta (Magrin et Seck, 2009). L'accès aux ressources dans les zones humides du delta (terroirs de décrues, zones de pêche) fait l'objet d'un contrôle exercé par des Wolof, une société hiérarchisée (Wane, 1969).

Le début des années 1970 est marqué, dans tout le Sahel, par des changements climatiques. Après plusieurs années humides, s'amorce une période de sécheresse. Les crues deviennent fréquemment déficitaires. Les productions s'effondrent. La vallée alluviale enregistre une forte dégradation de la végétation et une baisse drastique des

¹ Les premiers aménagements du Fleuve datent de 1909. L'aménagement de bassins en bordure des levées devant alimenter gravitairement une cuvette n'ayant subi aucun planage a alors été mis en œuvre à Richard Toll. L'aménagement du Sénégal sera remis à l'ordre du jour par la création de la Mission d'Étude du Fleuve Sénégal (MEFS) en 1935. La MEFS sera remplacée par la Mission d'Aménagement du fleuve Sénégal (MAS) en 1938. Un an plus tard le système de casiers étagés fait son apparition à Guédé chantier, à Démet, à Diorbiwol où l'eau est admise gravitairement à partir d'un grand canal principal et par un système régulateur de vannes.

Dès 1947, la MAS exploitait déjà 1 200 ha. Cette superficie sera portée à 6 000 ha en 1953. En 1964, la submersion est maîtrisée le long de l'axe Dakar Bango-Richard Toll, l'entrée de l'eau dans les défluent est contrôlée de façon à n'y admettre que les eaux douces de crue (Loyer, Mougenot, Zante, 1986). La SAED est créée la même année, après plusieurs expériences de mise en valeur à Guédé et dans la Moyenne vallée par l'Organisation Autonome de la Vallée (OAV) et à Richard Toll par la société pour le Développement de la Riziculture du Sénégal (CDRS).

peuplements de poisson. La crise des systèmes de production installés dans le delta a entraîné une pénurie alimentaire et provoqué un exode massif des populations.

À partir des années 1970, l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) coordonne les travaux à l'échelle régionale, regroupant le Sénégal, la Guinée, le Mali et la Mauritanie. La réalisation des barrages (Diama et Manantali) a accru les potentialités de développement de cette région, tout en améliorant l'hydraulique du fleuve. Lorsqu'en 1986, le barrage de Diama a été mis en service pour (i) lutter contre la remontée du biseau sur près de 150 km pendant 6 mois sur le cours Sénégal et (ii) accroître la disponibilité en eau douce, un vieux rêve s'est donc réalisé.

Cependant, quelques années plus tard, les plans de développement de l'agriculture irriguée dans le delta sont contrariés par la prolifération du *Typha australis*.

Le *Typha australis* est un végétal aquatique qui cause d'énormes dégâts dans les cours d'eau et canaux d'irrigation dans le delta du fleuve Sénégal. Il s'agit d'une espèce tropicale, subtropicale et méditerranéenne de la famille des Typhaceae (roseaux) qui pousse en formations denses sur des sols humides ou saturés et sur les sédiments aquatiques des marécages, des prés humides, des berges, des côtes, des estuaires, des fossés et des tourbières. On la trouve aussi dans les zones perturbées ainsi que sur les rives des plans d'eau permanents, particulièrement sur les terrains non cultivés. La construction d'infrastructures hydrauliques sur le fleuve Sénégal, les barrages de Manantali et de Diama ont entraîné l'expansion du *Typha*, en créant des conditions anaérobiques favorables. Le *Typha* a pu ainsi coloniser de vastes espaces dans les zones d'inondation du fleuve Sénégal ainsi que sur les autres axes fluviaux, entraînant des conséquences sur les activités humaines, la santé humaine, et sur l'écosystème.

Le delta du fleuve Sénégal est situé au Nord-Ouest du Sénégal dans la région de Saint-Louis. Il est compris entre les latitudes 16° et 14°4 Nord et les longitudes 15°30 et 16°30 Ouest. Il s'étend sur 5000 Km² dont 3000 à 4000 Km² en terre sénégalaise. Le Delta se présente sous la forme d'un triangle divisé en trois secteurs : Bas-Delta, Delta-Central et le haut Delta. Dans le delta, les végétations aquatiques envahissantes (VAE) ont connu une évolution croissante rapide.

L'extension du typha

De nombreux écrits confirment que le typha est une espèce autochtone dans le bassin du fleuve Sénégal et bien connue dans les langues locales « barakh » en wolof. Sa présence serait observée dans la vallée au moins depuis longtemps mais à la faveur de nouvelles conditions hydrologiques favorables, il s'est développé de manière fulgurante dans le Delta (OMVS, juin 2017). D'où l'appellation Végétation Aquatique Envahissante (VAE) pour désigner ces espèces qui élargissent leur aire de répartition géographique dans de nouveaux territoires vides ou occupés pour d'autres usages. Le typha colonise généralement les zones d'inondation du fleuve, les systèmes d'irrigation, les terres agricoles et les pâturages de décrue.

Le *Typha* a connu une expansion fulgurante ces dernières années à la faveur de la création de conditions hydrologiques nouvelles favorables à son développement. Le *Typha* était présent dans la vallée mais son extension n'était pas importante avant la mise en service du barrage de Diama (1986). Cependant, avec la présence permanente de l'eau douce dans la vallée du fleuve Sénégal grâce aux barrages de Diama et de Manantali, on y note la prolifération massive du *typha australis*.

Pour ce qui est du lac de Guiers, la permanence de l'eau douce depuis 1947 après la construction du Pont barrage de Richard-Toll, aurait eu pour conséquences le développement sans précédent des hydrophytes supérieurs particulièrement de *typha australis* SCHUM et THONN. Donc, C'est seulement dans le Lac de Guiers où cette espèce existait en peuplement assez importants au début des années 1980. Ainsi, les résultats de MBOUP révèlent une progression de la végétation aquatique de 4 % par an entre 1984 et 2010 et *typha domingensis* constitue la principale espèce envahissante dans le delta

Une expansion spatiale qui se poursuit ...

Typha domingensis Pers. a été signalé dans la région du delta en 1828 par Heudelot et Lelièvre et en 1833 par Perrottet (Trochain, 1940). La plante est très fréquente dans les différents milieux humides de la zone. Les observations au début des années 90 indiquent une extension importante du macrophyte dans le delta, le lac de Guiers et la Basse vallée du Ferlo (Sarr, 1996 ; Kuiseu, 1997 ; Thiam, 1998 ; Sarr, 2003).

La littérature sur l'emprise spatiale du typha demeure très hétérogène. Les surfaces données couvrent en partie soit le delta soit la vallée mais peu d'indications sur les limites géographiques de ces deux régions. Egalement, la méthodologie est peu décrite, ce qui fait que c'est souvent des données approximatives.

Les observations au début des années 90 indiquent une extension importante du macrophyte dans le delta, le lac de Guiers et la Basse vallée du Ferlo (Sarr, 1996 ; Kuiseu, 1997 ; Thiam, 1998 ; Sarr, 2003). Les typhaies ont été estimées à 125 km² soit 12 500 ha dans le delta dans les années 90 (Hellsten *et al.*, 1999). A la même période, la propagation des peuplements de *Typha* a été de 8-10 % par an dans le Bas delta du fleuve Sénégal (GTZ, 2001). Aucune référence cartographique n'a été trouvée pour ces estimations.

En 2012, dans le cadre de SIRENA (Système d'informations sur les Ressources Naturelles du Delta du fleuve Sénégal), il a été réalisé la cartographie du typha dans la zone de la RBT (Réserve de la Biosphère Transfrontalière) par une utilisation des images Landsat d'une résolution spatiale de 30m. Cela donne une idée assez précise de l'occupation spatiale du typha même si à cette résolution, il est très difficile de discriminer le typha des autres plantes aquatiques.

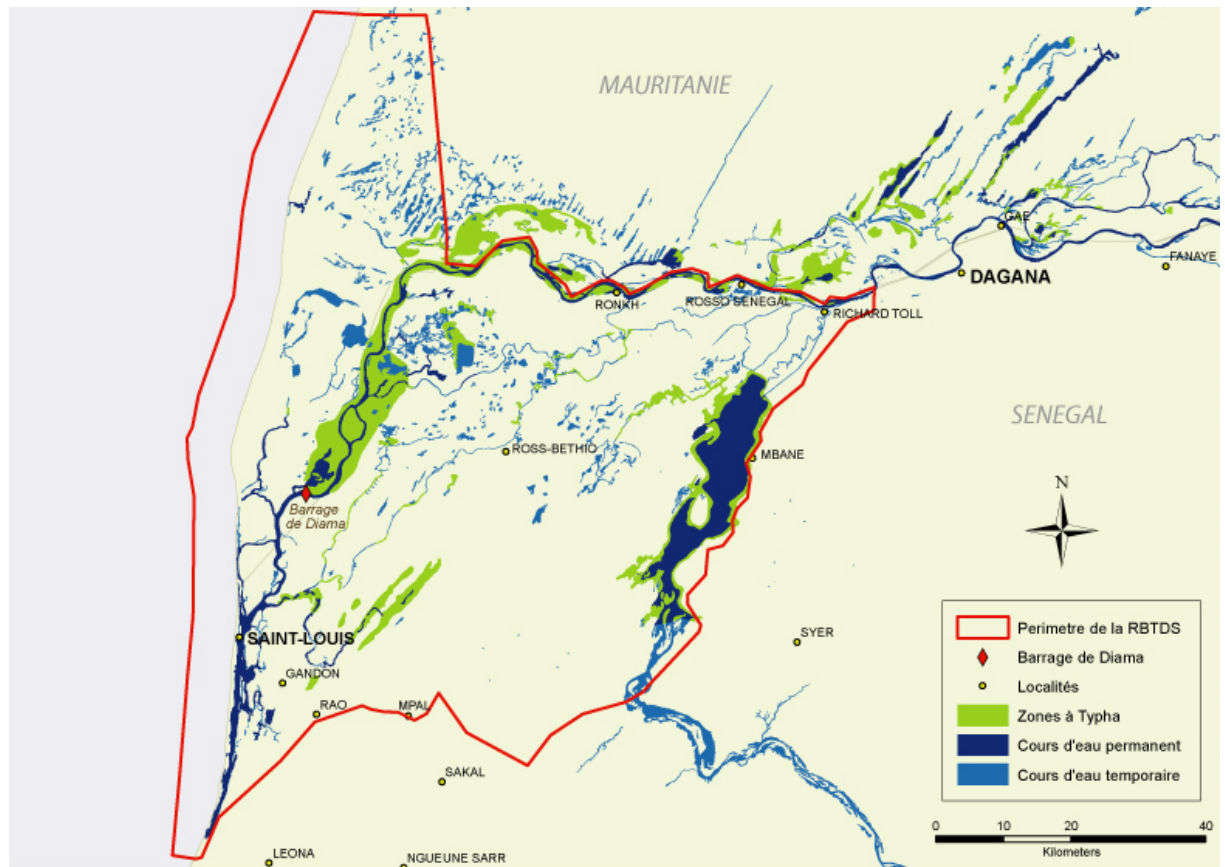


Fig 1. Réseau hydrographique et végétation aquatique de la RBT

Source : SIRENA

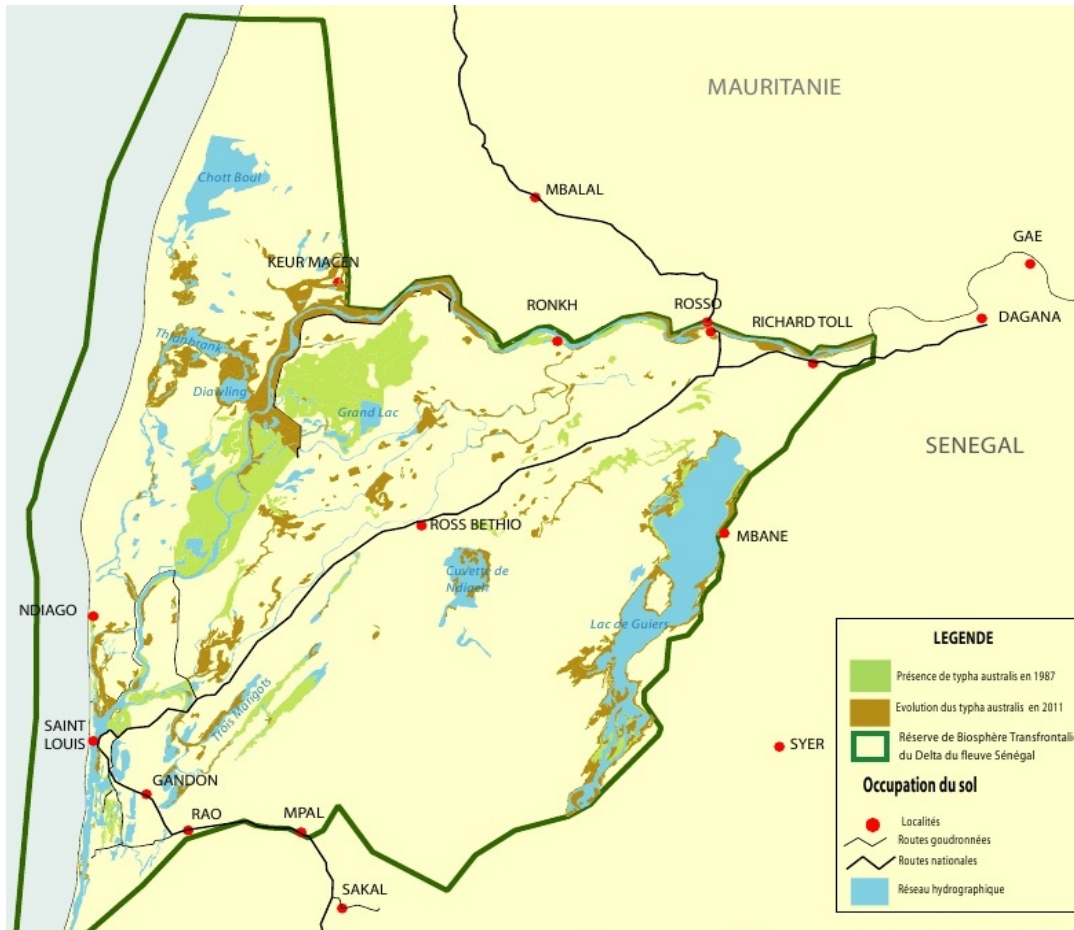


Fig.2 Dynamique spatiale du typha de 1987 à 2001 dans le delta du fleuve Sénégal
Source : SIRENA

En 1987 et 2001, la surface occupée par le typha est estimée respectivement à 417Km² et 709 km² soit une évolution d'environ 70%

Malgré les différentes méthodes mis en œuvre pour freiner la dynamique du typha, force est de constater que les surfaces n'ont cessé de croître. Cette même tendance est observée entre 2001 et 2017 dans la même zone. Il s'agit du suivi environnemental qu'ont réalisé Toure et al par la production de cartes d'occupation du sol à l'échelle spatiale du delta du fleuve Sénégal.

De 2001 à 2017, on note une augmentation d'environ 107% surtout tout autour du Parc National des Oiseaux du Djoudj(PNOD). Ce qui signifie que la surface a plus que doublé malgré toutes les initiatives d'éradication du typha dans le cadre de projets et programmes sur l'agriculture.

Une des limites de cette étude est la résolution des images qui ne permet pas de discriminer le typha. De ce fait, tout ce qui est classé typha comprends l'ensemble des plantes aquatiques. Par ailleurs, aujourd'hui dans le delta, le typha a fini de démontrer sa suprématie face à l'impuissance des moyens et mécanismes déployés pour son éradication.

Il y a moins de nouvelles occupations par le typha dans la zone du delta du fleuve. On y note surtout une régénération ou une recolonisation soit à cause de la coupe ou de l'assèchement de la zone. Cette situation est observable surtout autour des canaux d'irrigation.

Insuffisance des moyens de lutte actuelle

L'ampleur des surfaces occupées par les espèces végétales aquatiques envahissantes et leur rythme de propagation constituent l'un des problèmes environnementaux les plus préoccupants dans le delta. Malgré les nombreux programmes d'éradication du typha, certes les surfaces diminuent les deux années qui suivent les opérations mais juste après, on note une recolonisation accentuée. Il faut signaler aussi que la plupart des mécanismes déployés se résument à la coupe ou au déracinement superficiel

Facteurs de développement du typha

Pour connaître les facteurs d'apparition et de développement du *typha* au Sénégal, les articles de THIAM (1983), GEORGE, les travaux de CALESTREME de 2002, ceux d'E. J. L. CABO (2008), le dossier du PERACOD² (2009), le projet de l'OMVS (2009)³, la thèse de Doctorat de MBOUP (2014), l'article de KANE et al (2014) sont assez illustratifs.

La progression du typha dépend des conditions du milieu dans lequel il évolue. Il s'agit de la qualité de l'eau (salinité, acidité, profondeur). Quand la salinité dépasse 2%, le typha cesse de progresser et risque de mourir. Donc plus la salinité est faible, plus le typha se développe vite⁴.

Au cours des dernières années, les plantes aquatiques se sont développées de façon spectaculaire dans le bassin du fleuve et en particulier dans la basse vallée et le delta du fleuve Sénégal. Il s'agit principalement des roseaux (*typha* et *phragmites*), la laitue d'eau (*salvinia molesta*) et la fougère d'eau (*Pistia stratiotes*). Cette prolifération a été favorisée par la présence de nutriments, azote et phosphore en quantité suffisantes, une eau relativement **came**, de courants faibles et surtout l'arrêt de la remontée de la langue salée (AGRER et al 2003 : 5 vol1). Ces facteurs ont même pour cause les grands aménagements que sont les barrages de Diama et Manantali ainsi que des ouvrages connexes (endiguements, riziculture,) qui ont ensemble changé le régime hydrologique et la qualité des eaux du fleuve (AGRER, 2003, vol2).

² Programme pour la promotion des énergies renouvelables, de l'électrification rurale et de l'approvisionnement durable en combustible domestique

³ Le programme de lutte contre les plantes aquatiques envahissantes dans la basse vallée et le delta du fleuve Sénégal

⁴ C'est constaté dans la qualité du charbon au niveau des différents sites. Celui de Pomo, enregistre la meilleure qualité du charbon de typha et du fait, dans une grande mesure, du faible taux de salinité. C'est le seul site situé autour du lac

Avant la mise en eau du Barrage anti-sel de Diama situé dans le delta du fleuve Sénégal, le biseau salé remontait le cours du fleuve jusqu'à 200 km de l'embouchure, en période d'étiage. Le régime du fleuve caractérisé par d'importantes variations saisonnières et inter-annuelles présentait des débits réduits à des valeurs presque nulles en étiage (Sall M., 1982).

Dans le département de Dagana, le typha est devenu depuis les vingt dernières années, l'espace aquatique la plus dominante suivie du phragmite même si par endroit et/ou selon les saisons la surface occupée par phragmites peut être significative. Ce développement du typha s'est fait sur une dynamique spatiale et temporelle motivée par des facteurs anthropiques (coupes, activités socio-économiques) et naturelles (salinisation, physiologie de la plante, mode de reproduction). Le typha dans son extension spatiale se densifie vite et laisse peu d'espace pour l'émergence d'autres espèces. La seule plante avec laquelle il a beaucoup cohabité est le phragmites (Toure L, rapport de suivi Environnemental)

Impacts sur l'agriculture et sur l'irrigation

La progression du typha s'est fait par une consommation du front agricole irrigué. Du coup, il est noté une diminution des parcelles à usage agricole en raison de l'inaccessibilité des terres. Il s'agit principalement des zones inondables situées sur les berges du réseau hydrographique.

Dans le domaine de l'agriculture, le typha australis pose d'énormes problèmes comme l'envahissement des parcelles cultivables et l'appauvrissement de la biodiversité. En effet, dans cette zone du delta du fleuve Sénégal où la riziculture occupe une place de choix dans les activités économiques, l'expansion du Typha se fait au détriment des rizières. D'année en année, leurs superficies sont grignotées par l'avancée de ce roseau qui, en plus, offre un refuge pour les oiseaux granivores. Ce qui accentue l'énorme pression de ces derniers sur les cultures céréalières de la zone.

Avant le Barrage de Diama, pendant les périodes de décrue, l'eau se retirait complètement et donc la plante se desséchait. Ainsi, sur certains sites, les agriculteurs pouvaient alors la brûler et aménager des parcelles pour leurs cultures de décrues tandis que sur d'autres sites les éleveurs pouvaient y introduire leur bétail qui s'en nourrissait. Cependant, depuis l'installation des barrages, la plante a connu un rapide développement et avance régulièrement à l'intérieur des terres. Non seulement il n'est plus possible de cultiver sur les berges du lac de Guiers complètement envahies, mais également les populations sont obligées toutes les trois années d'abandonner leurs terrains à cause de l'avancée du *Typha* et d'aménager de nouvelles parcelles à l'intérieur des terres. « *Les terres colonisées par le Typha deviennent impropres à l'agriculture non pas uniquement pour des raisons d'envahissement de la plante mais surtout pour des raisons de salinisation ; en fait l'avancée de la plante s'accompagne d'un processus de salinisation des sols leur rendant ainsi impropre à la culture.* » (Enquêtes Mbann, avril 2006). Le problème de l'accès à l'eau du lac devient alors un véritable casse-tête puisque les agriculteurs locaux doivent constamment concevoir de nouveaux mécanismes techniques et trouver les outils nécessaires (tuyaux, moteurs, pompes) qui leur permettent d'acheminer l'eau vers les nouvelles parcelles de plus en plus éloignées du lac.

La progression de l'envahissement du *Typha* a été tellement rapide que la réaction des usagers et des autorités pour lutter contre le phénomène est venue trop tard. Ainsi, à

cause de ce retard, les ouvrages et les canaux sont en danger et beaucoup d'ouvrages ne répondent pas à leurs objectifs de départ par effets d'encombrement du *typha*. Et pourtant ces précieux ouvrages sont néanmoins indispensables pour la bonne mise en exploitation des parcelles agricoles et les utilisateurs d'eau comptent sur une qualité constante de fonctionnement de ces ouvrages.

Les différentes analyses ont montré que le Typha constitue un des plus gros défis qui menacent le fonctionnement de l'hydro système du delta et en particulier celui du Gorom Lampsar. Les incidences les plus significatifs de leur développement excessif le long des axes hydrauliques est l'augmentation de la rugosité, les problèmes d'écoulement, la réduction considérable des débits, etc. Le Typha empêche le bon écoulement de l'eau dans les axes, canaux et drains principaux, et de ce fait il favorise la sédimentation en augmentant la boue dans les canaux;

C'est pourquoi des modèles de planification de l'alimentation en eau des périmètres sont de plus en plus développés pour satisfaire les besoins en eau de l'agriculture. Plusieurs techniques existent et certaines ont été appliquées dans le Delta du fleuve Sénégal afin de réduire les effets néfastes de la présence du *typha*. Dans certains villages (Diama, Ronkh, ...), pour faire face à l'envahissement du typha, les acteurs ont essayé de brûler le typha.

Ces facteurs ont fait que beaucoup d'agriculteurs ont abandonné leurs terres par impuissance face à la force de colonisation du typha. Si le typha s'installe facilement, son déracinement demeure un casse-tête pour les agriculteurs qui, les premiers, ont commencé le combat contre le typha avant d'être soutenus par des projets avec la SAED. Car faudrait le rappeler, l'activité principale dans cette zone est l'agriculture irriguée et les meilleures terres se trouvent dans les zones envahies par le typha. Cela a poussé certains habitants à aller chercher des terres dans des zones un peu plus éloignées avec comme difficulté principale l'accès à l'eau pour l'irrigation.

La production agricole par hectare et le nombre d'hectares mis en valeur ont diminué à la fin des années 90 pour cause de l'envahissement par le *Typha*. En 2001, l'OMVS notait "Le difficile développement de la mise en valeur des terres aménagées dans le bassin du fleuve Sénégal, résulte d'un certain nombre de contraintes qui ont favorisé le phénomène de l'abandon des terres, observé depuis plusieurs années, et explique le faible taux d'exploitation des périmètres.

Campagne 1999-2000 de l'ensemble du bassin

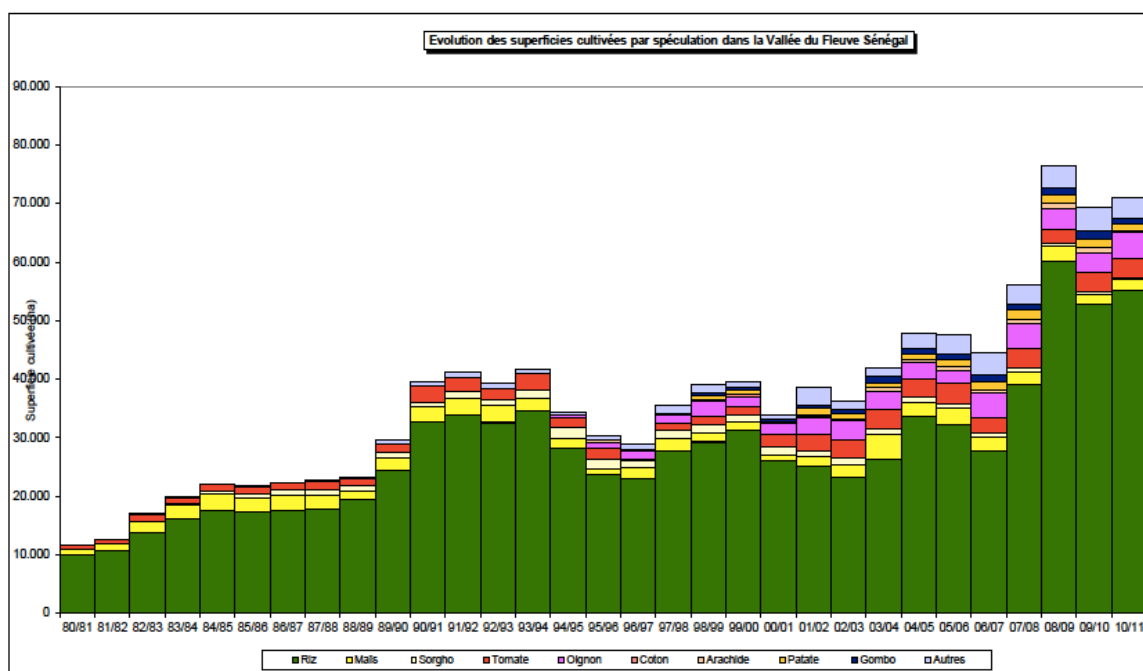
Agriculture irriguée	Sénégal	Mauritanie	Haut Bassin	Total
Superficies aménagées	91.371	42.190	840	133.401
Superficies mises en valeur	39.502	24.666	640	64.808
% mis en valeur	43%	58%	64%	48%

Source : Rapport OMVS Agriculture irriguée dans le bassin du fleuve Sénégal, 2001

Parmi les facteurs d'abandon, le typha jouait un rôle non négligeable du fait de « l'envahissement des axes hydrauliques par la végétation aquatique ».

Cependant, les activités de curage des axes hydrauliques réalisées dans le cadre du projet TF1 et 2 ont permis de contrôler la situation. Selon la mission de Formulation de la 3ème phase du projet : « Le nettoyage des axes a permis une relance des cultures irriguées en favorisant (i) l'extension de l'aménagement des périmètres agricoles autour de ces axes, (ii) une intensification des superficies emblavées, à savoir la possibilité d'exploiter deux ou même trois campagnes par année et (iii) la facilitation de l'alimentation gravitaire de certains périmètres irrigués (exemples : périmètre irrigué de Rkiz alimenté par le Laoueiya en Mauritanie et périmètre irrigué de Rawette alimenté par l'ouvrage 'I' au Sénégal). La SAED montre l'évolution du nombre d'hectares dans l'ensemble de la vallée du fleuve Sénégal – Les plaintes sur le manque d'eau pour l'irrigation ont considérablement diminué et par conséquent, les contraintes sur la gestion du barrage de Diama à des cotes élevées sont considérablement amoindries ; ces cotes élevées, parfois incompatibles avec les consignes d'exploitation du barrage, étaient imposées pour alimenter en eau les axes hydrauliques afin de garantir les besoins en eau des périmètres agricoles »

Figure 1 : Evolution du nombre d'hectares irrigués sur la rive gauche



Source : SAED

De fait, le graphique ci joint montre une augmentation des surfaces irriguées à partir de 2004/2005 ; après une période de décroissance après un premier pic en 1991/1993, suivi par une longue stagnation.

Certes les données sur les statistiques agricoles existent mais pour la plupart elle restent très générales et les localisations des estimations font défaut. D'où la difficulté

d'avoir des données fiables et précises mais surtout actualisées sur les activités agricoles, pastorales et halieutiques qui dépendent principalement des ressources en eau dont la disponibilité et l'accessibilité constituent des facteurs déterminant.

➤ **Questions à approfondir :**

Quelle sont les activités agricoles actuellement les plus impactées par le typha ? Et quelle est la part relative de l'effet « réduction de la disponibilité d'eau du fait du blocage des axes primaires, secondaires et tertiaires d'approvisionnement, de l'effet « diminution des surfaces disponibles » et « infestation des champs cultivés » ?

Impact sur la pêche

Les barrages de Diama (1986) et Manantali (1989) ont profondément modifié le régime naturel du fleuve. Le barrage de Diama a changé le fonctionnement estuarien du Delta, entraînant des effets notables pour la pêche. Avant le barrage, le biseau salé pénétrait en année moyenne jusqu'à 120 km de l'embouchure, créant un biotope favorable aux espèces d'eaux saumâtres. Dans l'estuaire, la diminution des courants rend rares les espèces de mer (raie, requin, capitaines, crevettes, gros mullets, etc.). En permettant l'adoucissement permanent des eaux en amont, le barrage de Diama a favorisé le développement de la végétation aquatique (*Typha australis*, *Salvinia molesta*) qui affecte la qualité de l'eau, la croissance des poissons, et constituent une entrave à la pêche.

Le système de pêche traditionnelle utilisée est une pêche au filet. Lorsque le poisson se déplace, il heurte alors le filet et ainsi s'effectue la capture. Aujourd'hui, avec l'envahissement des plantes aquatiques, notamment le *Typha australis*, les poissons se réfugient dans les racines de ces plantes et la capture devient très difficile. Ainsi la construction des barrages et la prolifération de *Typha australis* ont globalement entraîné la chute de la production annuelle de poisson sur la rive gauche de la vallée du fleuve Sénégal. Les travaux de Mietton et al. (2007, pp. 4304) estiment une chute de la production de la pêche artisanale de 30 000 T à 8 000 T. Il argue également que, sur le plan économique, l'impact de la plante est néfaste à cause de l'inaccessibilité actuelle des poissons aux pêcheurs. En plus, l'augmentation du niveau d'eau du fleuve et du lac liée à l'implantation des barrages de Diama et de Manantali, rend plus difficile les prises. Auparavant, pendant la période de décrue naturelle, le volume d'eau diminuait, les poissons se regroupaient ainsi dans des zones bien déterminées rendant alors la capture beaucoup plus facile (Bouso, 1997, pp. 45-65).

Paradoxalement, il semble que la biomasse de poissons ait augmenté à la suite de la mise ne service de Diama, en aval du barrage. Certaines espèces trouvent même un milieu favorable dans les typhaies ou sous d'autres plantes aquatiques. Mais les pêcheurs n'en profitent pas, sauf semble t'il en amont de Dagana⁵.

⁵ Extrait du rapport SOGED : "De l'avis de tous les pêcheurs enquêtés de cette zone les captures ont baissé depuis la construction des barrages. Les espèces pour lesquelles les débarquements ont le plus diminué sont les espèces d'origine marine du fait de l'existence du barrage de Diama qui constitue une barrière physique. De Dagana à Podor/Lexéiba, la situation est, selon les pêcheurs, plus complexe. L'ichtyofaune de cette zone semble avoir été très sensible aux années de sécheresse (1960-1985). Comparativement aux années de sécheresse, les captures durant la période après-barrages sont plus importantes. Sur l'ensemble et surtout du Complexe Lac de Guiers, la quasi-totalité des pêcheurs, disent que la ressource est actuellement abondante dans le lac. Mais du fait de l'abondance des herbes aquatiques

L'activité de pêche dans le delta a changé. Elle n'est plus ce qu'elle était avant les barrages. Ses conditions ont évolué. On ne capture plus les mêmes espèces et on n'utilise plus les mêmes techniques. La végétation aquatique gêne l'usage d'engins collectifs qui permettent la capture de grandes quantités de petits poissons. Les difficultés de capture encouragent également l'usage de filets à mailles fines non réglementaires. Les contraintes d'accès aux ressources halieutiques expliquent, sans doute, la réduction du nombre des pêcheurs dont la grande majorité sont de nos jours pluriactifs (pêche + agriculture) ou occasionnels (commerce, élevage). Le poisson pris est destiné en bonne partie au séchage.

Les migrations des espèces marines vers l'aval ont été bloquées par le barrage de Diama. La croissance démographique, l'expansion d'un modèle alimentaire national centré sur le riz au poisson, la baisse du nombre de pêcheurs et de la production dans la vallée ont contribué à la diffusion du poisson de mer (Magrin, Seck, 2009).

Pour les pêcheurs, le typha est vu comme une menace voire une contrainte pour l'accès aux zones de pêche mais aussi pour les débarquements. Ils étaient obligés de faire de grands détours.

Par contre pour les pêcheurs malgré l'abondance de la ressource, les difficultés d'accès font que la prise dans certaines zones est presque nulle et du coup cela impacte fortement sur la production. Toutefois, des études plus poussées élucideraient ces phénomènes en prenant l'exemple des villages comme Diama.

Dans l'ensemble, la pêche continentale traditionnelle change de contenu et de dimension spatiale. Les formes d'existence coutumières des pêcheurs s'aliènent au profit d'une ouverture plus grande sur les enjeux de l'après barrage, donc à la mondialisation : développement de l'agriculture irriguée capable de répondre aux besoins du marché national en céréales (riz), expansion des entreprises agro industrielles exportatrices de produits agricoles, production de l'hydro électricité pour réduire la dépendance énergétique, etc.

Impact sur l'élevage

L'accès des troupeaux aux sources d'eau est également rendu difficile à cause de l'envahissement du typha qui a colonisé les chemins d'eau et d'herbes. Les typhaies forment également des zones de faible valeur fourragère sur d'anciens pâturages de décrue. En plus il faut signaler la présence dans certaines zones de typha, de serpents. De nombreux cas de morsures de serpents ont été enregistrés dans un certain nombre de villages. On manque cependant d'estimation sur l'impact global du typha sur l'élevage, bien qu'il soit plutôt négatif.

(*Typha*) et de l'excès d'eau, les poissons sont devenus extrêmement difficiles à capturer. En ce qui concerne la reproduction, les pêcheurs ont constaté qu'elle est intense et semble même avoir lieu pendant toute l'année pour plusieurs espèces, alors qu'elle ne se passait qu'en saison des pluies avant l'édification des barrages. De même, la croissance s'est nettement améliorée comme l'atteste la taille des individus capturés. »

Impacts sur la santé

Le développement de la végétation aquatique, Typhaies en particulier, provoque une extension de la malaria, de la bilharziose, et rend difficile l'approvisionnement en eau potable des populations. Les impacts du typha sur la qualité de l'eau de boisson sont également détritimaux, du fait en particulier de la création de condition d'eutrophisation dans les eaux stagnantes. Son impact à plus grande échelle (pour le lac de Guiers par exemple) mériterait d'être analysé plus précisément.

Impacts écologique

Bien que les espèces animales et végétales du delta et de la vallée n'aient pas fait l'objet d'un inventaire et d'un suivi systématique, les menaces sur sa diversité biologique sont illustrées par la dégradation des habitats naturels, et en particulier, les formations végétales ainsi que les zones humides. - La biodiversité du milieu végétal est fortement menacée et celles de la piscifaune et l'avifaune tendent à se raréfier dans les axes en vahis.

Les effets écologiques et socio-économiques causés par le typha sont donc importants en termes de perte d'habitats, de gêne pour la navigation, de difficulté pour mener les activités domestiques et de pêche et d'impact agricole ainsi qu'en termes de coûts pour la restauration des axes hydrauliques.

➤ Questions à approfondir

- Répartition spatiale des typhaies et zonation agro-écologique
- Il serait utile de différencier les typhaies au sein du paysage, en distinguant les typhaies se développant en zones hautes temporairement inondées ou non, celles qui se développent dans les bas fonds alimentés par les eaux de drainage des périmètres irrigués, celles qui se développent en bordure de berge, et celles qui se développent en eau plus profondes. Ceci ira de pair avec une classification par type d'usage agricole ou de gestion des ressources naturelles, avec une attention particulière portée aux usages agricoles, incluant les surfaces irriguées, l'agriculture de décrue, le maraichage, et aux usages pastoraux.
- Une cartographie dynamique des usages et occupation des sols avant et après barrage sur un pas de temps décennal permettra de mieux étudier l'expansion du typha et de son lien avec les autres activités socio-économiques (agriculture, élevage, pêche).⁶

⁶ Une étude des scénarios d'évolution probable des écosystèmes et de la biodiversité qui tiennent compte non seulement du changement climatique mais des changements de gestion des eaux du fleuve que vont induire les Changements de Couverture Végétale et d'Utilisation des Terres dans tout le bassin du Sénégal, en particulier sa partie amont d'où proviennent l'essentiel des eaux trouverait tout son sens dans le contexte actuel, même s'il dépasse le cadre de la présente étude. La biodiversité et la disponibilité des ressources (élevage, pêche, agriculture, bois, fourrage, eaux, etc.) dépendent en grande partie

- Zonation des impacts du Typha. A partir de cette zonation agro-écologique des typhaies, il faudra alors déterminer l'importance et le type d'impacts négatifs du typha pour chaque zone, en fonction des différents usages des diverses parties prenantes.

III. Hydrologie, gestion de l'eau et des infrastructures hydrauliques et extension du typha

Le niveau d'eau dans la retenue de Diama sur le fleuve Sénégal à l'amont du barrage à vocation première anti-sel (1986) et des digues de rive gauche (Sénégal) et rive droite (Mauritanie) varie entre 1,5 m IGN en crue (pour laisser passer les débits et la sécurité de l'ouvrage) et 2,5 m NGM en étiage (pour contrer l'invasion des canaux par le typha notamment, diminuer les énergies des ouvrages de prises et faciliter les prises gravitaires vers le delta), pour des volumes respectifs de 250 et 535 Mm³ (millions de mètres cubes).

Le programme d'optimisation de la gestion des barrages (vers 2001) a intégré la régulation des débits du Bafing par le barrage à vocation première hydro-électrique de Manantali au Mali dont le volume utile est de 8 Gm³ (milliards de mètres cube). Il décrit les règles de gestion du barrage de Diama (notamment pour la sécurité de l'ouvrage sous l'influence des marées) et de Manantali (notamment pour la reconstitution d'une crue artificielle dans la vallée moyenne du fleuve pour les cultures de décrue).

Dans le bas-delta du Sénégal, côté Mauritanien, un plan de gestion des différents plans d'eau et canaux d'alimentation soumis à l'influence marine a permis la conservation des écosystèmes du Parc National du Diawling, qui appartient avec le Parc National des Oiseaux du Djoudj (Cuvette réalimentée côté Sénégal) à la Réserve de Biosphère Transfrontalière. Un projet de port international financé par la Chine, sans étude d'impact environnementale et sociale, met en péril cet exemple de gestion.

Les impacts de sur-salinisation du delta à l'aval du barrage ont été amplifiés par l'ouverture d'une brèche à une dizaine de kilomètres au Sud de Saint-Louis dans la langue de Barbarie (cordon dunaire) en 2006, qui fait maintenant plusieurs kilomètres, et qui, en raccourcissant l'embouchure du fleuve, l'a soumis plus fortement jusqu'au pied du barrage à l'influence maritime. Un effet du barrage a été également la salinisation de toutes ces terres par remontée du biseau salé et évaporation et qui ne sont plus alimentées naturellement en eau douce du fleuve.

La monographie du fleuve Sénégal a été actualisée jusqu'en 2011 grâce à un réseau de suivi des niveaux et des débits conséquent, qui, dans une version restreinte, est à pérenniser via le projet Sénégal-HYCOS et alimente le tableau de bord du fleuve Sénégal, outil d'aide à la décision au service de la gouvernance du bassin à l'OMVS, organisme de bassin transfrontalier, plus précisément à la Commission Permanente des

de l'évolution de ces facteurs. L'avenir des communautés du delta est donc très lié à ces changements possibles et aux scénarios proposés

Eaux, organe de l'OMVS à l'intérieur de laquelle se négocient les conditions pratiques de gestion du fleuve Sénégal, entre Manantali et Diama – où l'on peut considérer qu'est décidé chaque année le programme de lâchers.

On peut ainsi définir plusieurs territoires pour l'étude du fonctionnement hydraulique influencé par le barrage de Diama par rapport aux problèmes de l'invasion par le Typha, et la salinisation :

- Le lit du fleuve dans la retenue du Diama entre les deux digues surplombant désormais le delta jusqu'à l'influence de son remous en étiage dans la partie aval du cours principal du Sénégal (à Boghe et Podor) et de son bras le Doué dans la vallée, toutes les berges sont envahies par le typha laissant uniquement l'axe hydraulique central en eau libre ;
- Le système du lac de R'kiz en Mauritanie alimenté par débordement (cuvettes), dont les axes d'alimentation seraient envahis par le Typha ;
- Le système du lac de Guiers vers la vallée du Ferlo, alimenté par le canal de la Taouhey artificialisée et son ouvrage hydraulique de prise de fait ou barrage vers le fleuve, où est prélevé l'eau potable pour Dakar, les berges du lac étant envahies par le Typha ;
- Le système du Gorom-Lampsar (Walo) dans le delta en rive gauche, côté Sénégal, où les périmètres ont été aménagés dans d'anciennes cuvettes – alimentées cycliquement naturellement à l'origine – pour l'irrigation du riz (SAED), de la canne à sucre (CSS) et des périmètres transférés à d'autres organisations et villageois côtoient l'urbanisation le long du « goudron » (route nationale 2) et de l'axe hydraulique principal, des espaces naturels (Djoudj, Forêt classée de Diama) et de l'agriculture traditionnelle en régression, avec des canaux et territoires de cuvettes également envahis par le Typha, les axes hydrauliques étant la source d'eau potable par puisage ou adductions d'eau potable, le système étant fermé par un barrage à Dakar Bango – Camp Militaire (Usine d'alimentation en eau potable de Saint-Louis dans la retenue de ce système à Ndiawdoun sur l'autre rive d'un bras annexe par rapport à l'université).
- Les marigots au Sud-Est de la Route Nationale 2 avec les forêts classées de Massar de Foulane et Tilène et la réserve de Faune du Ndiaël
- Le système de l'Aftou-es-Sahel, alimentant en eau potable Nouakchott ;
- Les périmètres irrigués de la SONADER en Mauritanie ;
- Le bas delta mauritanien avec le parc national du Diawling, ses plans d'eau, marigots, dunes ;
- Les mangroves entre Diama et Saint-Louis.

Des exercices d'évaluations économiques pertinents ont été faits sur le territoire du Parc National du Diawling en Mauritanie et le Walo au Sénégal et ont permis de montrer respectivement la possibilité d'optimiser développement rural de zones peu habitées et conservation des écosystèmes d'une part et de hiérarchiser la valeur économique de l'eau en fonction des usages dans un secteur très aménagé pour la culture du riz, à la rentabilité très faible voire négative par rapport à d'autres cultures et l'agriculture familiale, pour justifier l'accent pertinent des projets de développement sur l'alimentation en eau potable et la valorisation de la biomasse, ponctionnée cependant de manière très importante par l'avifaune dont l'intérêt est plutôt mondial.

Face aux choix lourds de développement d'activités économiques concernant tous les pays membres dans le bassin (électricité), sans la Guinée pour la navigation et les cultures de décrues dans la vallée du Fleuve Sénégal, Sénégal et Mauritanie dans le Delta, les principales solutions « lourdes » envisagées et dont on cherchera à faire un diagnostic stratégique, au-delà de la caractérisation de leur faisabilité, sont :

- La poldérisation des berges du lit central dans la retenue de Diama, pour y développer une agriculture plus rentable que la valorisation industrielle de la coupe de Typha et la pêche dans cet environnement artificialisé ;
- L'optimisation coordonnée de la gestion hydraulique dynamique par secteurs en fonction des besoins de développement des activités humaines et de conservation des écosystèmes, pour contrôler le Typha en valorisant cette biomasse.

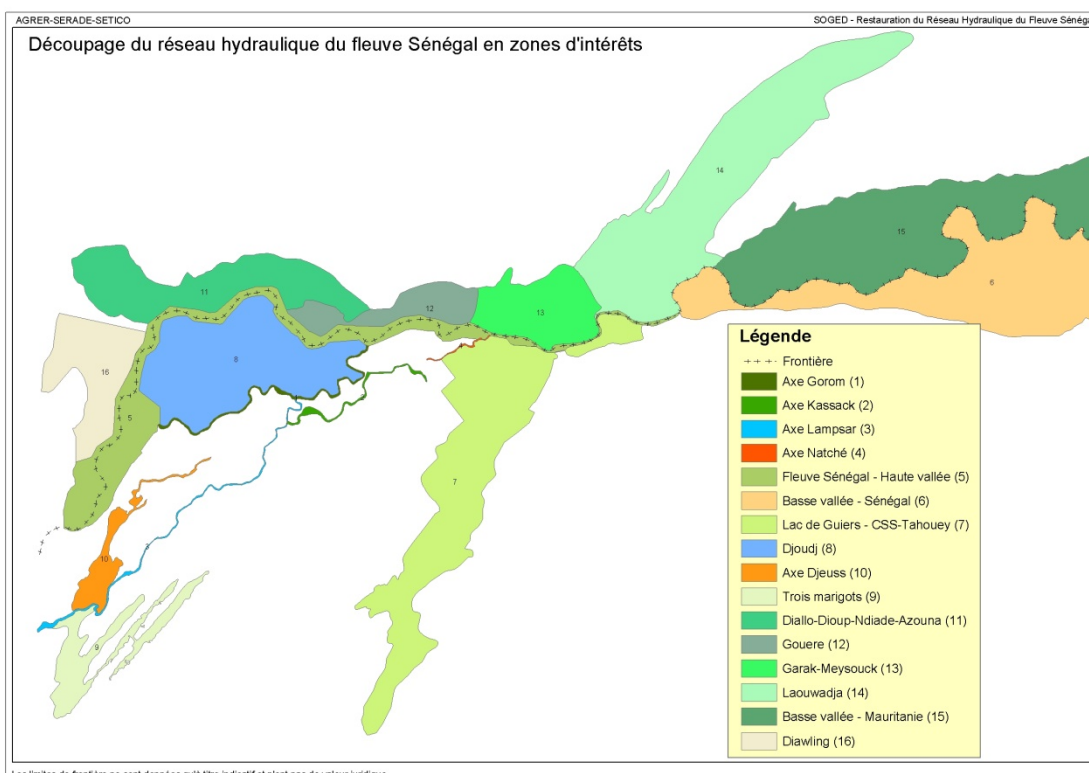


Figure 3 : Découpage du réseau hydraulique du fleuve Sénégal en zones d'intérêt

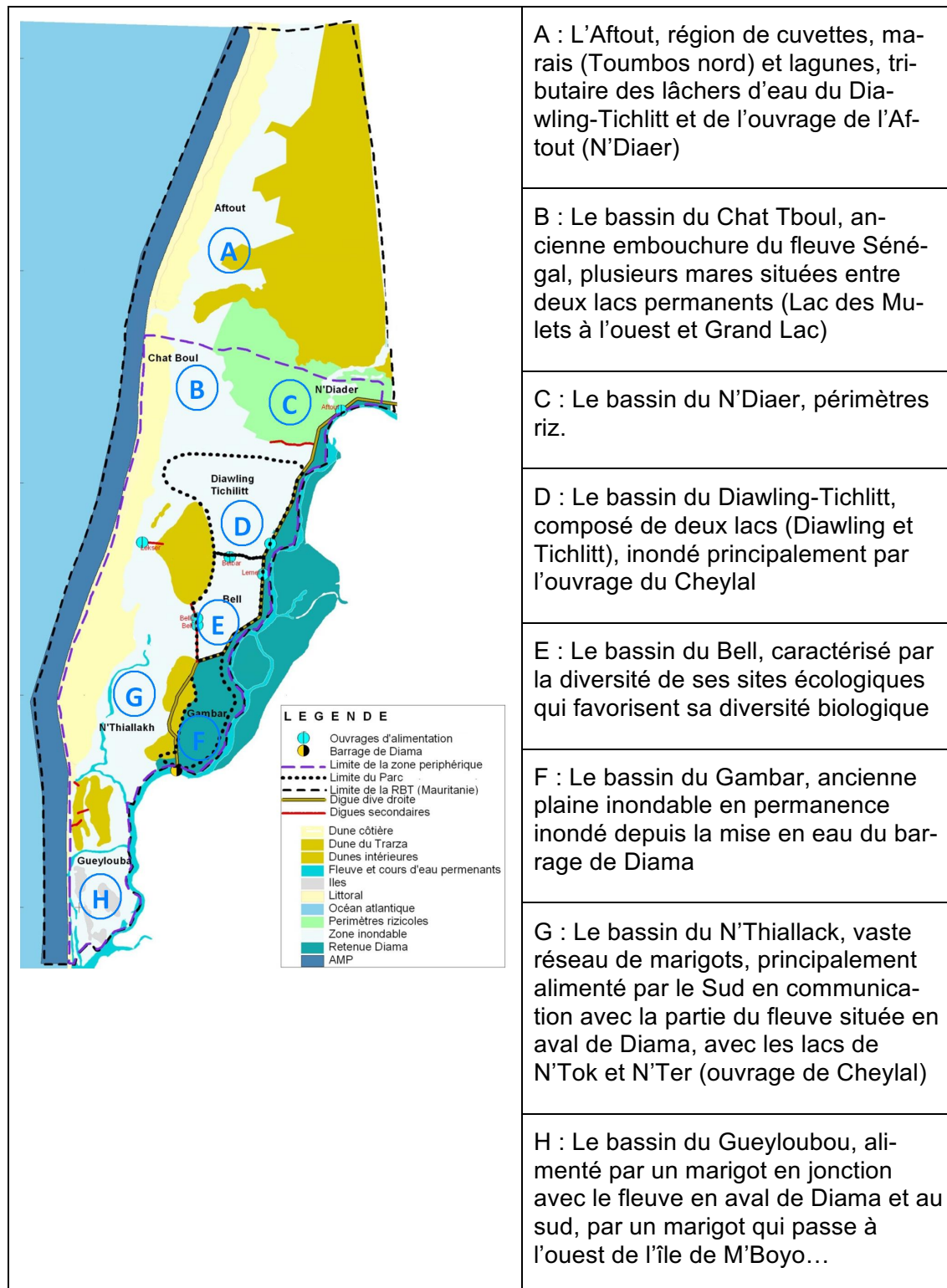


Figure 4 : Les unités hydrologiques du bas delta (dépression de l'Aftout-es-Sahel en rive droite, Mauritanie)

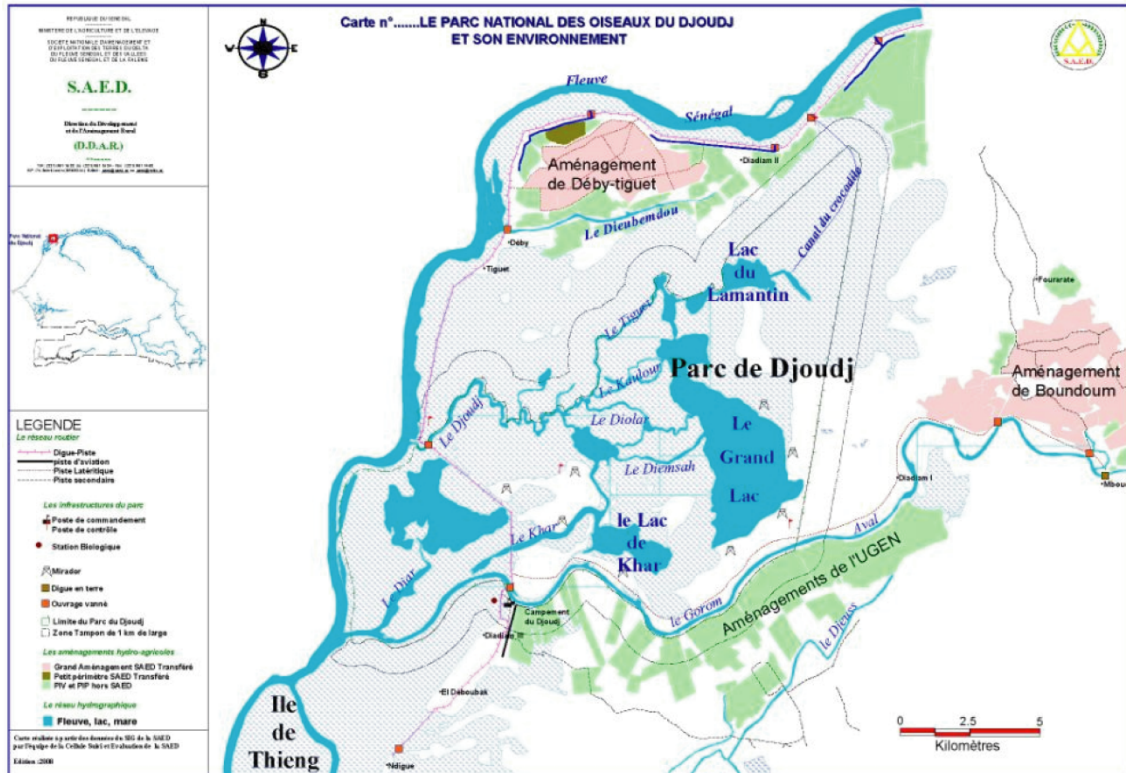


Figure5 : Le Parc National du Djoudj et son environnement (cuvette du Djoudf en rive gauche, Sénégal)

Kamara (2013) a découpé le système hydraulique du Delta du Sénégal en trois sous-systèmes :

- Lac de Guiers – Ferlo régulé par l’ouvrage de Richard-Toll (gravitaire)
- Kassack-Diovol régulé par l’ouvrage B de Ronq (gravitaire et pompage)
- Djeuss-Gorom-Lampsar-Giandolais disposant de multiples connexions hydrauliques permettant de sécuriser l’alimentation en eau des marigots et lacs ainsi que les activités économiques (agriculture irriguée et approvisionnement en eau potable),

Le système peut-être décrit également en sous-unités hydrologiques : Lampsar, Gorom amont, Gorom aval, Kassack, Ngalam-Trois Marigots, réserve de Dakar-Bango, Taouey, Djeus, Lac de Guiers, Bras principal du fleuve Sénégal...

Différentes institutions interviennent ainsi dans la gestion de l’eau et des ouvrages :

- SOGED / CPE pour Diama géré à 2,10 m en saison sèche et 1,50 m en pluvieuse ;
- CSS / OLAG pour Richard Toll ;
- PNOD
- Commission de gestion de l’eau : Unions hydrauliques de Bagam, des GIE de Djeuleuss et Thiagar, de Boundoum, de Débi ;

- L'OLAG gère les réserves d'eau douce de Dakar-Bango et du Lac de Guiers (filière eau potable) ;

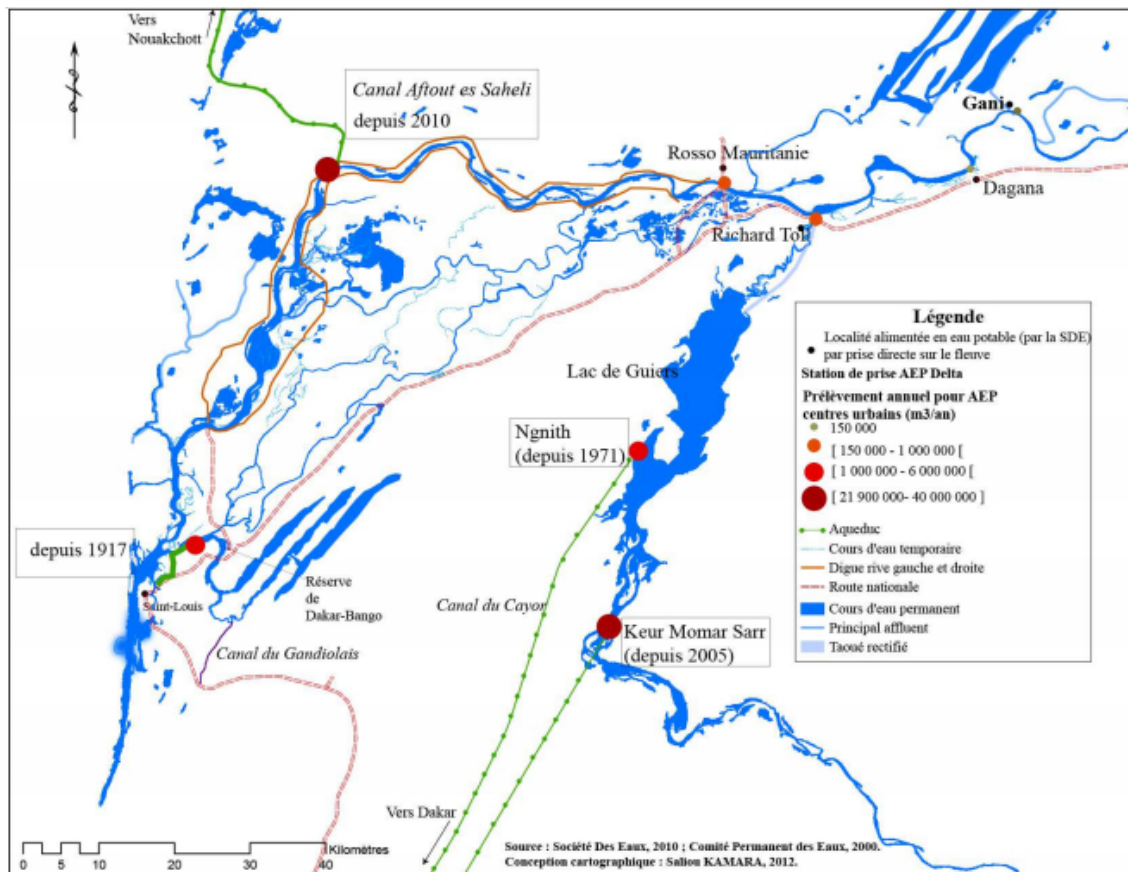


Figure 6 : Le transfert de l'eau pour l'AEP (depuis le Delta du fleuve Sénégal vers les centres urbains)

- La SAED gère les ouvrages hydrauliques desservant des périmètres irrigués (filière agriculture irriguée)

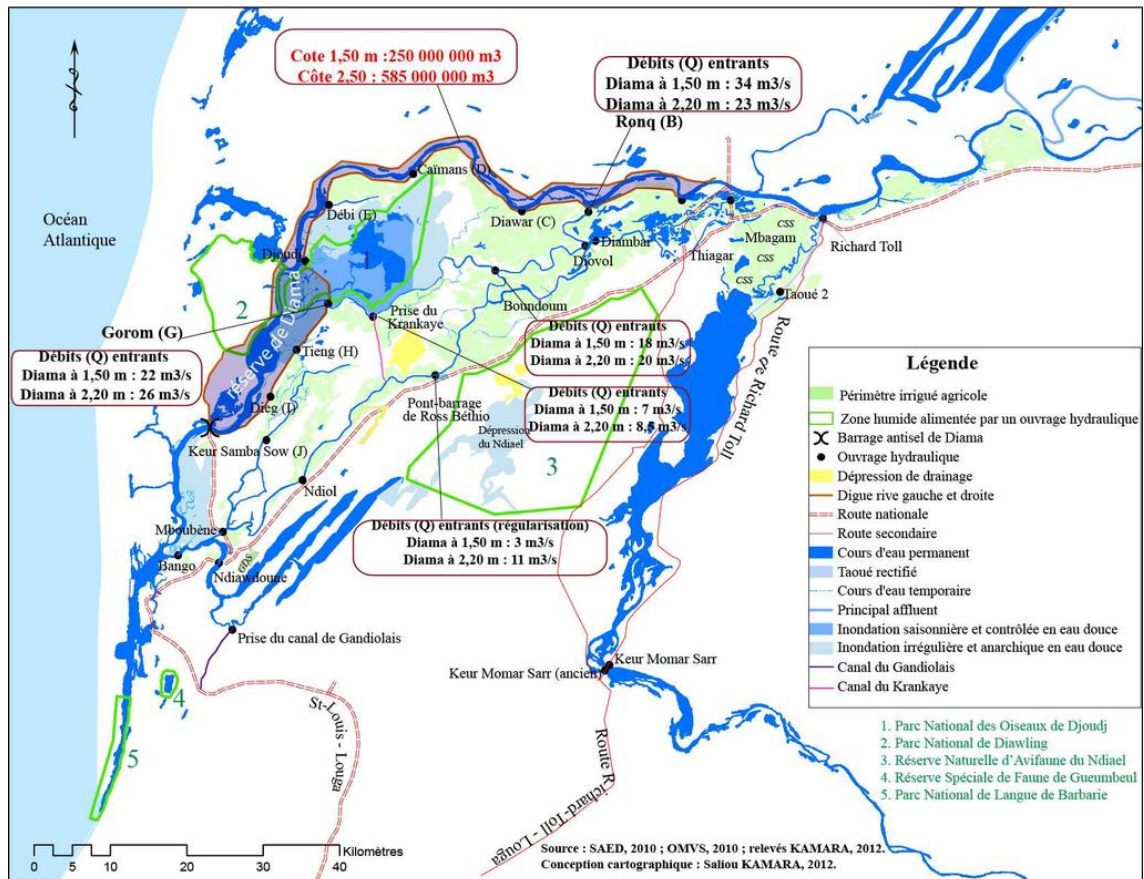


Figure 7 : Le système hydraulique delta du Sénégal (entrées, sorties, et régulation) – débits entrants (m³/s)

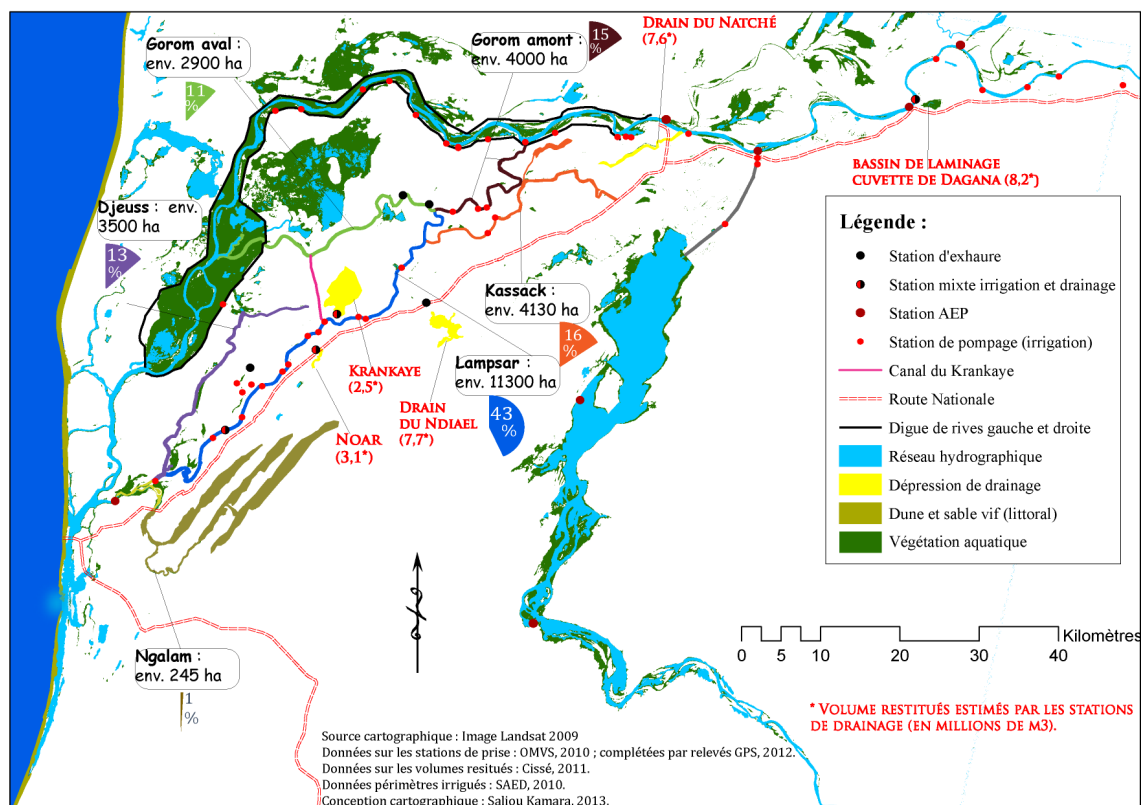


Figure 8 : Structure spatiale des ouvrages de prise (irrigation et eau potable) – volumes restitués (Mm3/an)

➤ **Questions à approfondir dans la suite de l'étude**

- On se proposera dans l'étude, à partir de l'approfondissement de la biographie, de l'exploitation des données notamment issues de systèmes d'information géographique institutionnels et de projets précédents, de visites de terrains et entretiens avec des personnes ressources et animations locales en mission, et des différents ateliers prévus au cours de l'étude, de caractériser le fonctionnement hydraulique de chacun des secteurs de la typologies proposée précédemment, voire affinée, pour diagnostiquer l'opportunité et l'acceptabilité des solutions qui nécessiteront un engagement des parties prenantes à l'OMVS pour le maintien de ses objectifs de développement avec la mitigation de la prolifération du Typha.

IV. Ecophysiologie du Typha, déterminants de son expansion

Le *Typha domingensis* ou *Typha australis* (appelé Massette ou Quenouille en français ou encore Cattail, Bullrush ou Reedmace par les Anglo-saxons) est une espèce tropicale, subtropicale et méditerranéenne. Cette plante aquatique de la famille des *Typhacées* est généralement observable dans les milieux humides et aquatiques tropicaux, subtropicaux et méditerranéens. Il fait partie des groupements de végétaux des sols inondés temporairement et pousse dans les formations denses sur des sols humides ou saturés et sur les sédiments aquatiques des marécages, des zones dites prés-humides, des berges, des estuaires, des fossés et des tourbières. Il colonise les sols à texture argilo-sableuse ou limon argilo-sableuse à pH acide, riches en éléments chimiques. Ladite espèce peut également résister pendant un certain temps à une salinité assez élevée du substrat. C'est pourquoi, on peut la retrouver aussi dans les zones salines et perturbées ainsi que sur les rives des plans d'eau permanents, particulièrement sur les terrains non cultivés.

LE CYCLE DE LA PLANTE

Brève description du Typha

(Mbaye, 2015 ; Aquatic Invasive Species Literature Review)

Nom accepté : *Typha domingensis* (Pers.) Steud. ; anciennement désigné *Typha australis*

De nombreux synonymes : *T. australis*, *Typha angustifolia* subsp. *Australis*, *Typha aequalis*, *Typha angustifolia* subsp. *Angustata*, *Typha angustata*, *Typha angustata* var. *abyssinica.*, *Typha angustifolia*, *Typha schimperii*

L'espèce appartient à la famille "monogène" des *Typhaceae*, de la sous classe des Monocotylédones. C'est une grande herbacée émergente de haute taille (jusqu'à 3-4m de haut), croissant dans les lieux humides. Plante érigée entièrement glabre ; Feuilles alternes distiques, linéaires, à insertion essentiellement basale ; tige ronde sans nœuds, à cœur moelleux ; inflorescence cylindrique compact comportant une partie supérieure pour les fleurs mâles et une partie inférieure pour les fleurs femelles ; les fruits sont des akènes munis d'une sorte d'aigrette les rendant très volatiles, les graines sont très petites et pèsent 0,02-0,03 mg chacune⁷.

On pense que *T. domingensis* est naturel des régions chaudes du continent Américain à partir desquelles il s'est répandu dans les zones tropicales et tempérées chaudes

⁷ Source : PROTA - PROTA4U Record display).

des autres continents. Il est présent dans le delta du Fleuve Sénégal depuis fort longtemps (avéré depuis 1828) mais son extension restait limitée jusqu'à la construction du barrage de Diama

Cycle phénologique de la plante et biologie

La période de floraison est maximale est d'Avril à Juin, correspond à une photopériode et à des températures optimales pour la plante (Dieng, 2002). La floraison est influencée par certaines conditions du milieu comme la température et la hauteur de submersion. Les fruits sont matures en août - septembre.

Production de graines : un seul épi peut porter entre 20 000 et 700 000 graines.

La dispersion des graines se fait essentiellement par le vent, sans doute à très grande distance compte tenu de leur très faible taille, en particulier dans les conditions de la vallée du fleuve où les espaces ouverts sont nombreux.

Les Typha sont des plantes vivaces à rhizomes formant un dense réseau dans la vase.

La reproduction est à la fois sexuée par germination des graines et végétative à travers les rhizomes. La germination des graines peut avoir lieu sous une faible profondeur d'eau d'environ 2,5 à 5 cm (K. Motivans) en milieu anaérobie ; elles auraient, cependant, besoin de lumière (Calestreme, 2002). L'établissement des plantules issues des graines exigent des conditions particulières : faible profondeur d'eau ou sol humide, pas de végétation ou de litière dense, pas de forte salinité (Macek P et al. 2008 ; Macek P. et Rejmánková E, 2007). Les plantules se développent donc dans les eaux peu profondes d'où sa prolifération sur les abords des berges et dans les canaux d'irrigation (pour le cas du fleuve Sénégal). Le *Typha* se retrouve donc sur les rives du fleuve, ainsi que dans les fossés et les nappes d'eau de faible profondeur. La dormance des graines a été mentionnée en condition milieu saumâtre (PROTA).

La répartition de la biomasse entre parties aériennes et parties souterraines est en faveur des parties souterraines, ce rapport s'accroissant avec la croissance des rhizomes en phase végétative (Kane et Akpo, 2014). Les rhizomes constituent le principal réservoir de nutriments pour les plantes vivaces géophytes comme le Typha. Les concentrations des organes souterrains (rhizomes et racines) en amidon, hydrates de carbone solubles et hydrates non structurels sont élevées au début de la période de végétation, l'amidon représentant la plus grande partie (Eid, Ebrahim M, 2013). Ces concentrations subissent ensuite une baisse en raison de leur utilisation pour la production et la croissance des pousses lors de la floraison puis maturation des graines à partir de Mars-Avril jusqu'au Juillet; Leur augmentation progresse à nouveau ensuite, et résulte du transfert à partir des pousses pour la constitution des réserves. Pour cette raison, il a été suggéré que la meilleure période pour réaliser des coupes de contrôle du typha (en dessous de l'eau) serait celle de la floraison, les rhizomes étant alors affaiblis s'ils sont ensuite maintenus en anaérobiose.

Vitesse de propagation par clonage à partir de rhizomes : après établissement, un individu en milieu favorable peut se propager par clonage à partir des rhizomes jusqu'à 7-8 m par an, mais seulement d'environ 2 m en conditions défavorables (Macek P., Rejmánková E. et Lepš J., 2008).

➤ Questions à approfondir :

Les aspects de la biologie du Typha à approfondir sont : apporter des précisions sur les différents stades phénologiques du cycle de développement de la plante en rapport avec les périodes de l'année et en référence à la VFS ; les variations interannuelles de la floraison et la production de graines ; la distance maximale à laquelle les graines sont transportées par le vent ; des précisions sur la dormance des graines, les conditions de leur germination et de survie des plantules ; la longévité des rhizomes après destruction des parties aériennes en condition de submersion ou d'assèchement. Selon certaines sources, les rhizomes pourraient survivre jusqu'à 4 ans s'ils ne sont pas exposés au soleil ou enterrés profondément car ils contiennent des réserves dont la quantité influe sur la longueur de la période de dormance. Ceci mériterait d'être vérifié.

ECOLOGIE, EFFETS DE DIFFERENTS FACTEURS

Effets de l'enrichissement du milieu

L'expansion du Typha dans les zones humides a été associée à une anthropisation de ces milieux conduisant à une perturbation de leurs conditions physicochimiques. Le rôle des apports en phosphore (P) a été particulièrement souligné (Macek et Rejmánková, 2007 ; Macek . and Rejmánková, 2008 ; RICHARDSON et al. 1999)

Le taux de photosynthèse, la teneur en chlorophylle, la biomasse (matière sèche) et le taux de croissance relative du Typha sont considérablement accrus en milieu enrichi en P par rapport au milieu pauvre en P. Il y a également augmentation du nombre de repousses par plante en fonction du niveau d'apport en P.

En plus du rôle important de P pour la croissance du Typha, l'apport de phosphates jouerait un autre rôle. SHUWEN LI et al. 2009, ont montré que le sulfure d'hydrogène qui est un produit final majeur de la réduction des phosphates par les bactéries est toxique pour les plantes. Hors, le Typha s'est montré nettement plus tolérant que d'autres espèces (Shuwen Li et al., 2009). Cela contribuerait à sa dominance sur les autres espèces.

L'accumulation de la litière a un effet négatif sur le nombre de plantules établies et sur la densité des différentes espèces et contribue à la domination des espèces compétitives comme le Typha (Vaccaro et al., 2009)

➤ **Questions à approfondir**

- Sur l'effet des facteurs adverses : quelle serait la durée d'une période de sécheresse à la quelle il faut exposer le Typha pour la destruction des parties souterraines ? Quelle serait la combinaison taux de salinité x durée d'exposition pour aboutir à la destruction de la plante ?
- Quelle serait la hauteur et la durée de submersion pour asphyxier les rhizomes ?
- Il serait aussi intéressant de disposer de données sur les caractéristiques biochimiques des différents types de milieux infestés ou susceptibles de l'être par

le Typha (eutrophisation, richesse en éléments nutritifs ...). Examiner la possibilité d'apprécier l'impact des activités agricoles et des industries sur le milieu

LES FACTEURS FAVORABLES A L'EXPANSION DU TYPHA

En conclusion, les acteurs favorables à l'expansion du Typha seraient les suivants :

- Les caractéristiques biologiques particulières de la plante :
 - sa compétitivité due à une reproduction végétative vigoureuse et une de croissance végétative rapide, ce qui lui permet, une fois installé, d'occuper l'espace immédiat au détriment des autres espèces ;
 - sa capacité de se reproduire également par germination des graines lui permet d'étendre son expansion à de nouvelles zones car ces graines sont facilement transportées par le vent à de grandes distances. Les plantules peuvent alors germer sur des sols humides ou submergés à faible profondeur, en bordure des cours d'eau, des marres, des canaux et des rizières ; la population se développe ensuite par rhizomes vers les eaux plus profondes.
 - la forte adaptation aux milieux eutrophisés et riche en phosphore et sa tolérance à certains éléments, comme les sulfures, produits dans ces milieux
- Modifications du milieu dans le delta
 - La forte baisse de la salinité de l'eau due au barrage de Diama dont le rôle est d'empêcher l'entrée de l'eau de mer ;
 - L'accroissement considérable des zones inondées (de façon temporaire ou permanente) qui résulte du niveau d'eau constamment élevé dans le fleuve et dans les marigots affluents ou défluent et des aménagements hydroagricoles dont les surfaces occupées ont beaucoup augmentées avec leurs réseaux de canalisation et de drainage, et leurs aires de déversement.
 - La modification du milieu du fait des activités de l'agriculture irriguée et des industries notamment par l'apport de grandes quantités d'éléments nutritifs dont les plus déterminants pour le Typha, Phosphore et azote

CONSEQUENCES POUR LES TECHNIQUES DE CONTROLE DU TYPHA

Du point de vue **des techniques de contrôle du typha**, on peut conclure qu'une éradication totale du typha dans une zone géographique donnée est illusoire. Sa forte capacité de dissémination à partir des graines, tout comme la résistance de ses rhizomes (qui résistent bien au feu d'ailleurs), et sa capacité de colonisation par voie végétative élevée en font le colonisateur idéal des zones humides, en l'absence d'ennemi naturel identifié à ce jour.

Manipulation du régime hydrique : submersion

Des hauteurs de submersion élevées (± 200 cm) pendant de longues périodes (8 à 10 mois) entraînent une diminution de la vigueur du Typha, les effets au niveau de son

fonctionnement étant une réduction : de la densité des pousses, du taux de floraison, de la photosynthèse, de la production d'hydrates de carbone et de leur transfert vers les rhizomes (Roberts et Kleinert 2014 ; Chen et al., 2013 ; Grace, 1989). Toutefois il s'est avéré difficile d'obtenir la destruction de la plante déjà établie par des périodes de submersion . L'espèce croit vigoureusement entre 30cm et 150 cm de submersion. La forte tolérance de *T. domingensis* à la submersion est due à sa grande capacité d'alimenter les parties souterraines en air à partir des feuilles et des tiges, cela grâce aux tissus en aérénchymes dont sont pourvues toutes les parties de la plantes.

La technique de coupe sous l'eau

Cette méthode semble la plus prometteuse, les résultats des expériences rapportées étant jugés tous significatifs même si les niveaux d'efficacité sont variables. D'après Apfelbaum (1985), les résultats de la lutte par des moyens mécaniques dépendent plus de la relation entre le niveau de submersion et la hauteur de coupe que des méthodes de coupe elles-mêmes. La période de coupe a été également signalée comme importante (Hellsten (2002); Apfelbaum (1985).

Hellsten et al. (2002) ont testé sur le lac Gorom la coupe par bateau faucardeur à - 50cm -20 et 0 cm, avant et pendant la floraison. Ils ont ensuite mesuré la reprise du typha dans le temps ainsi que la dynamique des rhizomes et du potentiel redox d'échantillons de sédiments. Il apparaît au final que **c'est la coupe pendant la floraison, et en profondeur (-50 cm), qui retarde le mieux la reprise du milieu par le typha.** Nonobstant, dans ce meilleur des cas, une population d'individus adultes de 4m50 de haut recouvre déjà 5% de l'espace 1 an après l'opération de coupe profonde. On peut donc en déduire qu'aucune méthode ne garantit la destruction totale des rhizomes, la ré-infestation semble donc inévitable à la fois à partir des rhizomes survivants et des semences en lisière du plan d'eau, à moins de pratiquer des coupes d'entretien régulières ou d'encourager l'implantation d'une autre espèce concurrente.

➤ Questions à approfondir

Ce qui semble important par rapport à cette méthode c'est qu'elle permet d'arrêter l'alimentation des rhizomes en oxygène et en hydrates de carbone. Dans les expériences rapportées, la profondeur de coupe est indiquée mais la hauteur (des tiges) de coupe à partir de la surface de la vase n'est souvent pas précisée. Est-ce qu'il aurait une différence entre une coupe à ras du sol et une autre à 50 cm 100cm ? Les souches de typha auraient-elles une influence sur la survie de certains rhizomes ? Une autre hypothèse possible est qu'une certaine fraction des rhizomes soit en état de dormance au moment de la coupe et ne prendraient pas part (ou peu) aux réactions biochimiques à la suite de la respiration anaérobie imposée entraînant leur mort.

Drainage et mise en assec

Comme pour la submersion, il est difficile d'aboutir à l'élimination du Typha en le soumettant à un régime de sécheresse. Roberts et Kleinert, 2014, indique que la plante est capable de rétablir sa végétation après 2 ans de sécheresse et que son élimination nécessite plusieurs années : plus de 5 ou jusqu'à 7 ans. En conséquence il serait peu réaliste d'envisager la mise en pratique de cette méthode

Augmentation du niveau de salinité

Il a été rapporté un niveau de tolérance à la salinité assez élevé de *T. domingensis*. Le Typha est considéré comme moyennement tolérant à la salinité. Il supporterait jusqu'à 2% de taux de salinité (Aquatic Invasive Species Literature Review) mais il a été aussi mentionné un taux de 1% comme seuil de tolérance (Calestreme, 2002). L'effet de la salinité se traduit par une diminution du poids de matière sèche, de la densité et de la hauteur des plantes (Glenn, 2008). Il a été observé que les phragmites, qui sont fréquemment associés au Typha, résistent mieux à la salinité et que la proportion de phragmites augmente donc avec la salinité.

Les mécanismes d'adaptation à la salinité ont été décrits et incluent des modifications anatomiques et une accumulation d'osmolytes pour éviter la perte de turgescence (Akhtar et al. ; 2016, et Macek et al., 2008). Une lutte par une hausse du niveau de salinité du milieu devrait tenir compte de cette capacité d'adaptation de l'espèce.

V. Méthodes de contrôle du typha

La lutte chimique

La lutte chimique a été systématiquement écarté comme moyen de contrôle de la prolifération du Typha dans le delta du fleuve Sénégal (DFS) en raison de la fragilité du milieu. L'emploi de désherbants chimiques dans les milieux humides comporte, en effet, de grands risques de pollution des eaux et de toxicité pour les espèces non visées, et donc une menace pour la biodiversité. Néanmoins, nous avons estimé qu'il était nécessaire de recueillir des informations dans la littérature sur ce qui a été dans ce domaine et les expériences acquises en termes de faisabilité et de risques.

Les herbicides les plus souvent cités comme pouvant être employés contre le Typha sont : dalapon, 2,4-D, aminotriazole, glyphosate, Imasapyr, 2,2-DPA, glyphosinate ammonium, MCPA, Amitrole + Ammonium Thiocyanate (Apfelbaunn, 2013 ; Marnotte, 1999 ; K. Motivans, S. Apfelbaum ; Department of Agriculture and Fisheries Queensland, 2017 ; K. Motivans, 1987). Tous ces produits sont à application foliaire sur végétation en pleine croissance et la plupart sont systémiques ; ceux applicables en pré-levée ont été rarement cités. L'utilisation des produits est souvent préconisée en fonction du type de milieu infesté (lieux humides naturels, canaux, bassins artificiels ...) et de l'usage auquel il est destiné. D'autres mesures de précautions sont à respecter : utiliser des produits moins nocifs, notamment pour la faune aquatique ; éviter la dérive sur les cultures avoisinantes ou sur la végétation non visée ; prévoir des moyens de gestion de la biomasse morte pour les effets négatifs sur le milieu qui résulterait de la décomposition. Un exemple de l'évaluation de l'impact éco-toxicologique de traitement herbicide a été rapporté pour le glyphosate (Linz et Homan, 2011), montrant qu'il n'y avait pas d'effet direct des traitements sur les invertébrés aquatiques, les poissons et les oiseaux ; des effets indirects constatés étaient induits par la décomposition ou la suppression de la végétation de Typha.

Lutte biologique

La littérature sur la lutte biologique contre le Typha est assez rare et il n'a pas été rapporté de méthode ayant produit de résultats significatifs dans ce domaine. Des insectes parasitant le Typha ont été mentionnés par Grace et Harrison, 1986, citant les travaux de Claassen (1918) au Canada. Plusieurs Lépidoptères et des Hémiptères s'attaquent à l'inflorescence.

Sur les feuilles, les insectes plus fréquents sont : la chenille de Noctuideae, *Arsilochia albovenosa*, qui devient aussi mineuse des tiges ; des Aphides ; et des mineuses des feuilles (*Bellura obliqua*, *Nonagria oblonga*). Les rhizomes sont également attaqués par une chenille de *Calendra* qui se nourrit du cortex riche en amidon. Cependant, aucun cas de lutte biologique efficace en utilisant ces insectes n'a été rapporté au niveau mondial.

Le cas le plus cité est celui de l'utilisation de poissons herbivores, notamment les carpes. Plusieurs espèces de carpes, notamment d'origine asiatique ont été mentionnés mais il a été signalé le risque que représenterait leur introduction car ces poissons

sont polyphages et pourraient s'attaquer à d'autres espèces végétales. La solution serait de faire recours à la forme triploïde, stérile mais qui cela entraînerait des coûts plus élevés. Des essais d'introduction de carpes chinoises ont été effectués par la CSS dans les années 2000, avec des résultats considérés comme prometteurs initialement. Mais il semble que par la suite, ces résultats n'aient pas été confirmés.

Il a été aussi signalé que les rats musqués (muskrats) pouvaient avoir un impact sérieux sur un peuplement de Typha. Ces rats peuvent atteindre une densité de population telle qu'ils arrivent à causer un retard sérieux au peuplement de Typha au cours d'une saison (K. Motivans et S. Apfelbaum (1987). L'action de ces animaux permettrait de maintenir une eau libre pour l'équilibre du système. Il faut noter, cependant, que ces observations ont été faites sur milieux naturels et ne se rapportent pas à des expériences ou des actions de lutte.

➤ **Questions à approfondir**

- Quels ont été les résultats des introductions de carpes chinoises par la CSS ?
- Est-il envisageable d'introduire les rats musqués dans la VFS ? ces animaux pourraient-ils s'adapter ? Ne seraient-ils pas un danger pour les cultures ou pour d'autres espèces ?
- Est-il opportun, techniquement et économiquement, d'envisager un programme de recherche expérimentale sur la lutte biologique ?
- Dans quelle mesure serait-il possible de définir une approche permettant de minimiser les dangers que représentent les herbicides à tel point qu'on pourrait envisager d'intégrer la lutte chimique dans les stratégies de contrôle du Typha dans le DFS ?

LES METHODES MECANQUES DE CONTROLE A DISPOSITION ET LES RESULTATS DE LEUR MISE EN ŒUVRE

La progression avérée du typha indique qu'aucune méthode de lutte n'est effective seule de façon permanente : sur tout milieu propice dégagé du typha, ce dernier revient à plus ou moins brève échéance.

La littérature présente une diversité d'expériences pour le contrôle du typha à travers le monde, qui ont inspiré plusieurs expérimentations dans la vallée du fleuve Sénégal. Toutefois par manque de de moyens, ces expérimentations ont été menées sur des durées trop courtes (Hellsten, 1999, 2002 ; Konate, N.M., 2015) pour pouvoir conclure sur leurs effets à moyen et long terme.

Sur le plan technologique, les expériences n'ont pas abouti non plus à des solutions mûres et maîtrisées localement, à l'exception des équipements très lourds mise en œuvre par Eiffage.

Le faucardage par pelle mécanique

A ce jour, la seule technique éprouvée sur la zone demeure le faucardage par pelle mécanique par Eiffage (RSE Sénégal 2008, OMVS 2013) dans le cadre des opérations de réhabilitation des infrastructures hydrauliques (dragage, curage, façonnage). Cette insertion au sein de besoins de génie plus larges que le contrôle de l'invasif porte un coût d'ensemble réellement significatif : 3,8 Md FCFA, pour 333,500 m³ déplacés et 64,4 ha faucardés. Un investissement à cette hauteur n'est pas reproductible sur l'ensemble des zones affectées par le typha et vraisemblablement réservé aux axes stratégiques.

Notons que 13 mois après ces travaux, la réapparition du typha a été constatée partout où les conditions de milieu le permettaient, de façon moins étendue qu'auparavant en raison du dragage et du reprofilage des berges (OMVS, 2013). **A terme, c'est la dynamique de sédimentation qui dictera le tempo de recolonisation de ces espaces par le typha, dès que la hauteur d'eau baisse à 1,5 m selon la littérature (approchant 2m selon constatations anecdotiques dans le lac de Guiers).**

L'entretien des axes par les Associations d'Usagers

Les solutions d'entretien des axes secondaires appuyées par le PGIRE (OMVS, 2013) en collaboration avec des associations locales d'usagers n'ont pas porté leurs fruits. La première sélection de matériels diffusés est arrivée tard et s'est avérée inadaptée aux conditions locales de climat, et d'environnement sociotechnique (par exemple les débroussailleuses proposées sont rapidement tombées en panne). Dans un second temps, les rectificatifs matériels proposés ont été incomplets ; puis au-delà de la formation d'opérateurs le temps et les moyens financiers ont manqué pour le renforcement des associations d'usagers, l'appropriation et l'application technique, la mise en place d'un service après-vente. La lutte contre le typha par les associations locales nécessiterait une stratégie de pérennisation de la maîtrise technique, un renforcement organisationnel et un plan de financement praticable, tout ceci en amont des gros entretiens planifiés. .

Arrachage

L'étude questionnera sur le terrain les expériences passées d'arrachage du typha : arrachage manuel, arrachage mécanisé (par exemple avec tracteurs et outils dans les périmètres irrigués). Les informations disponibles font état de grosses difficultés opérationnelles, se traduisant par des résultats décevants car il suffit que quelques rhizomes restent en terre pour permettre un redémarrage rapide de la typhaie

Feu Le passage du feu a été testé par les populations comme moyen de contrôle du typha en saison sèche. D'après les informations disponibles, le feu ne détruit pas les rhizomes, et il y a une repousse rapide de jeunes pousses postérieurement, et de ce fait le typha n'est pas éliminé. Il faudrait en complément du feu arracher les rhizomes, ce qui suppose du matériel de labour lourd, ainsi que des outils spécifiques de trie (herse) qui généralement ne garantissent pas l'éradication totale des rhizomes. En conséquence, à la prochaine saison humide, le typha peut repousser à partir des rhizomes restants, et même si sa densité est faible au départ, il peut réoccuper le terrain

rapidement en conditions favorables. Outre ses aspects nocifs sur le plan environnemental (fumées, dégagements de dioxine, effets sur la faune), le feu n'est donc pas une solution à moins d'être combiné, soit avec un arrachage total bien difficile à assurer, soit une submersion profonde provoquant l'asphyxie des rhizomes. Même dans ces conditions, il doit sans doute rester utilisé dans des cas précis et sur des territoires limités et contrôlés.

- **Questions à approfondir** : Données à préciser (en particulier au niveau des matériels et techniques d'arrachage et résultats des feux mis en œuvre par les communautés) lors des enquêtes et entretiens sur le terrain

Efficacité de la coupe

Des études plus poussées et prolongées seraient nécessaires pour bien connaître le fonctionnement des rhizomes dans nos écotypes, comprendre les conditions mortifères pour ces rhizomes en submersion, et la dynamique de reprise du typha au fil du temps sur différents types d'espaces traités. En somme, trop peu d'expérimentations scientifiquement encadrées ont eu lieu, menant à des résultats et conclusions parfois divergentes, ci-dessous.

Ces travaux ont testé un bateau faucardeur Conver C480H et proposé des pistes d'adaptation du matériel (puissance du moteur, profilage de l'hélice, réglage de barre de coupe).⁸ L'étude cherchera à savoir si ces adaptations ont été réalisées par la suite.

10 ans après, Eiffage a utilisé un matériel similaire en annexe de ses engins de gros œuvre (excavatrices Big Float et Case). L'étude questionnera Eiffage sur ce choix, la performance de l'équipement, la complémentarité et répartition des tâches entre les différentes machines, et les conditions sociotechniques de pérennité du transfert de technologie (quelles formations, quelles compétences clés, quel SAV).

Cela permettra d'évaluer la performance et les conditions de transfert de technologie sur un matériel de faucardage en milieu inondé d'importation, travaillant à minimum 1m de profondeur.

Les travaux plus récents de Konate et al. (2015) montrent des résultats plus optimistes et prometteurs à partir de tests de coupe réalisée à pied, à la main, dans deux biotopes différents : au PND (Bouhajra) et près de l'ISSET (Garack). Les auteurs concluent sur l'efficacité de la coupe en profondeur (-40 cm) en vue de l'élimination des rhizomes par anoxie. Toutefois cette étude était bien trop courte pour une mesure d'impact. Également les mesures de rhizomes et analyses de sédiments ont manqué. L'étude aurait besoin d'être reprise et renforcée sur plusieurs aspects pour tirer des conclusions réellement robustes. Quoi qu'il en soit, ces études permettent d'orienter les choix techniques vers des solutions de coupe à hauteur variable selon les besoins de contrôle (et/ou de valorisation).⁹

⁸ En l'état, la solution importée Conver ne traitait que 1ha en 35h, en raison de la faible poussée motrice, et des difficultés de ramassage et de transport de la matière au séchage ou traitement post récolte.

⁹ La coupe d'exploitation se distingue de la coupe d'épuisement par le niveau de coupe et la gestion hydraulique. L'exploitation de végétation libre requiert une coupe à 10-20 cm au-dessus de la lame d'eau,

Les technologies de coupe à disposition

La littérature et le recensement -à poursuivre- des projets et technologies fait remonter les options suivantes :

Engins lourds chenillés :

- RUMO Big Float
- matériels CASE (Eiffage)

Bateaux :

- bateaux faucardeurs Conver, RSPlanering, Dorotea Mekaniska,
- pirogues avec barres de coupe (OMVS 2013) (Gret 2016),
- bateaux de récolte Conver

Moissonneuses de roseaux en terrains mous ou semi-amphibies :

- matériels à roues basse pression Seiga et Ukreed
- chenillards Dorotea Mekaniska, Hanze, Conver C550 C580H, Mobitrac XXL E
- chenillards très basse pression fabrication BCS

Engins sur terrain ferme :

- tracteurs-débroussailleurs
- débroussailleuse spécialisées pour halages : Conver C10 à 3-roues

Petits engins versatiles

- Motoculteurs
- Débroussailleurs/faucardeurs chenillés type Mini Case

Coupe à pied mécanisée

- débroussailleuse (différentes types testés par PGIRE, GRET, SAED)
- tronçonneuse adaptées (2 modèles testés par Gret)

Coupe à pied avec outil manuel :

- râteau de faucardage
- faucille
- machette

Des solutions hybrides seront envisagées au cours de l'étude : par exemple coupe à pied à partir d'un objet flottant, d'une plateforme Seiga, etc.

afin de permettre une reprise rapide des jeunes pousses et de la photosynthèse, ceci pour permettre une croissance rapide sans trop affecter les réserves souterraines. (Konate et al., 2016)

Comparaison socio-technique et économique des divers équipements

Pour chaque solution, nous approfondirons les prérequis sociotechniques, les types de terrains et hauteurs d'eau de travail possibles, le degré de maturité technologique.

Il conviendra également d'affiner les estimations de coût et de s'interroger sur les coûts d'entretiens ultérieurs nécessaires pour maintenir les voies d'eau libres de typha (en particulier le curage périodique pour lutter contre l'alluvionnement naturel).

Ces techniques seront présentées dans un tableau de synthèse : (ébauche ci-dessous comme base de discussion, partiellement renseignée pour exemple)

Technologie	Terrains de travail	Hauteur de coupe	Contraintes socio-techniques	Niveau d'investissement requis	Productivité	Coût €/ha	Co-bénéfices
Coupe manuelle faucille	Sec, boueux, inondé - 1m	> 0 cm et jusqu'à -Y cm	Disponibilité de main d'œuvre et équipements de sécurité	Très faibles	3-4 m ² /h 500 hj/ha	3 – 5000	Matériaux valorisables
Coupe manuelle machette	Idem	> 0 cm en inondé	idem	Idem	Environ 4 m ² /h	idem	idem
Fauche en sec et transport des résidus par outillage agricole	Sol ressuyé			Elevé	?	600-800 €/ha (estim SOGED)	Matériaux potentiellement valorisables
Bateau faucardeur Conver	Inondé prof min. - 1m	De +X à -Y	Gestion de l'outil SAV ?	à préciser	35h/ha	à estimer	Matériaux valorisables
Engins lourds (Eiffage)	Tous terrains	A préciser	Entreprise in-	Très élevé		90700	Réhabilitation des

			ternatio- nale sous contrat				ou- vrages hy- drau- liques
--	--	--	-----------------------------------	--	--	--	---

Traitement après coupe

L'étude interrogera le devenir du matériel végétal après coupe : comment rassembler la matière et l'acheminer vers la berge, les techniques de collecte en milieu aquatique et le transport localisé.

Si de surcroît il est question de disponibiliser cette matière pour encourager des filières de valorisation (par ex Bouhajra, PND) et encourager les coupes de maintien du milieu, le type de valorisation peut avoir des impacts sur le mode de coupe et traitement post récolte, ainsi que la période et les zones de coupe.

Ainsi des maturités et caractéristiques physico-chimiques particulières peuvent être requises. Par exemple les chaumiers nécessitent du typha jeune de moins d'un an, et le taux de salinité du typha affecte la qualité des biocharbons.

➤ **Questions à approfondir :**

Eléments de réflexion en vue de concevoir des « itinéraires techniques de contrôle » combinant plusieurs solutions

La littérature présente -et à approfondir- ainsi que les expérimentations à programmer par la recherche appliquée, signalent que ce sont des approches combinées ou intégrées qui seront à mettre en œuvre ; à suivre par un mode d'entretien du milieu. Par exemple

(1) combiner coupe et gestion hydraulique : coupe à sec + submersion, coupe sous la lame d'eau et maintien de la submersion... puis maintien du milieu par ADU

(2) coupe et auxiliaires biologiques : coupe et carpes chinoise pour éliminer les jeunes pousses, etc. et reprise du par activité aquacole par exemple, etc.

Plusieurs facteurs seront à analyser pour chacune des stratégies de contrôle :

- Les contraintes de terrain : hauteur d'eau, topographie, périodes possibles de travail, accessibilité, etc. Ces contraintes limitent les choix techniques.
- les conditions sociotechniques : les capacités humaines et matérielles en relation possible avec les différents terrains en question
- l'efficacité : les coûts-bénéfices de chaque technologie, pour optimiser les moyens financiers
- les aspects ESG et la concertation : les impacts environnementaux et sociaux, et les aspects de gouvernance (devoirs et responsabilités) sur le milieu aquatique, le foncier, les biens communs.

➤ Les conditions de pérennité :

- les ressources financières périodiques et pérennes des parties prenantes à différents échelons,
- les ressources potentielles (financières et/ou travail) liés à la récupération ou au développement d'autres usages du milieu aquatique ; comme par exemple l'aquaculture de nénuphar, de gowé, la pêche, les espaces récréatif en bord de collectivités, les accès à l'eau pour les besoins communautaires, l'élevage, etc.
- les moyens potentiels (financiers, techniques, et travail) en lien avec les filières de valorisation des typhas et phragmites vers l'énergie, les matériaux de construction, artisanat, aliment animal, papeterie, etc.

Afin d'identifier les possibles plans d'action, ces informations seront croisées avec l'apport de

- la cartographie pour une typologie dynamique des terrains et milieux,¹⁰ et leurs surfaces
- les possibilités de combiner la gestion hydraulique (hauteur d'eau dans ces différents espaces) avec les techniques de coupe

Comment garantir que le milieu reste dégagé ? quels modèles économiques ?

L'étude approfondira les questions d'entretien des différentes zones sur le long terme. Cela dépendra de l'usage voulu du milieu aquatique et des acteurs impliqués sur une zone particulière.

Le remplacement du typha par d'autres espèces aquatiques ou semi aquatiques concurrentes (Nénuphars, Sprorobolus, Bourghou) a été proposé et a commencé à être testé par plusieurs acteurs. Mais on manque de recul pour déterminer si ce remplacement peut être définitif , sans entretien régulier et élimination de repousses de typha. On peut espérer, si ces espèces ont une valorisation économique, que les populations concernées assurent elle-même cet entretien.

Un cas particulier est celui de la création/ récupération de zones de pêche testé par le PND (Magrega et Milic, 20016). Un entretien régulier (bi mensuel) doit être assuré par les pêcheurs pour assurer que la zone dégagée de typha reste libre.

Plusieurs cas de figure se présentent d'ores et déjà pour l'entretien des zones dégagées. Ils seront à étudier plus précisément au travers des documents reçus récemment, des recherches complémentaires et des consultations de terrain. Cas de figure déjà identifiés, options de maintenance :

- par ADU (organisées par institutions, docs OMVS) (ou auto-organisées voir cas Rkhiz)
- par services techniques des parcs ou collectivités (PND) (PNOD)

¹⁰ « dynamique » car selon la saison et la hauteur d'eau, un même terrain passe de sec à boueux à inondé.

- par usages concurrents au typha: nénuphar et sporobolus (expérimenté dans le PND), bourghou fourrager ? pêche ? récupération de zones agricoles ?
- par coupes d'épuisement, en alimentant si possible des filières de valorisation (par exemple usages traditionnels, alimentation animale – fourrage, provende, énergie, matériaux de construction, papier/carton)

➤ **Question à approfondir :**

- Quelle efficacité et durabilité de l'implantation d'espèces concurrentes ?
- Quelles relations entre filières de valorisation et contrôle du typha ?
- Les filières de valorisations mettent et mettront en œuvre des techniques de coupe pérennisées par l'exploitation commerciale du typha : ces entreprises disposeront des matériels et du savoir-faire également utiles pour les coupes de contrôle. Quels arrangements financiers et co-bénéfiques pourraient voir le jour, par exemple sur les bordures des zones d'exploitation, sur la contractualisation des entreprises pour des coupes de contrôle ? sur les transferts de moyens entre entreprises d'exploitation, et associations locales ?

VI. Synthèse et conclusion sur le contrôle du Typha

Compte tenu des caractéristiques biologiques du typha présentées plus haut, et des informations recueillies dans la littérature sur les méthodes de lutte et de contrôle du typha, les principales approches visant le contrôle du Typha peuvent être classifiées ainsi :

- **Re- salinisation du delta** : Un retour à des taux de salinité élevés pendant quelques mois de l'année (fin de la saison sèche) permettrait selon le niveau de salinité atteint, soit de tuer le typha et autres plantes envahissantes, soit de réduire fortement son extension et sa compétitivité. Cette solution n'est guère envisageable sur l'ensemble du delta, car elle menacerait à la fois les approvisionnements en eau potable de Dakar voire Nouakchott, et supposerait de renoncer à l'irrigation de saison sèche sur l'ensemble du Fleuve. Par contre, la gestion de la salinité est déjà pratiquée sur les Parcs Naturels, PND en particulier
 - o La prochaine étape de l'étude devra préciser si cette stratégie est envisageable dans d'autres secteurs hydraulique, et si oui lesquels
-
- **Elimination mécanique du typha**. Le faucardage est la méthode principale de contrôle mécanique du typha. Le faucardage doit être pratiqué sous l'eau, à au moins 30 cm de profondeur pour être efficace. Même dans ces conditions, il n'élimine pas complètement le typha et des repousses sont possibles. Il doit donc être complété par des coupes d'entretien régulières, et/ou par l'implantation d'espèces concurrentes.
 - o L'étude essaiera de préciser les conditions d'efficacité du faucardage (coupe sous l'eau) ainsi que les coûts des différents matériels utilisables, et fera des recommandations en matière d'essais agronomiques de longue durée
- **La lutte chimique** est possible, relativement peu coûteuse, mais extrêmement risquée sur le plan de l'environnement et de la santé humaine. Pour cette raison elle a été proscrite par l'OMVS. ¹¹
- **La lutte biologique** n'a pas jusqu'à présent donné de résultats, ce qui ne signifie pas qu'il faille abandonner la recherche de solutions éventuelles.
 - o L'étude fera des recommandations pour la poursuite de la recherche sur le contrôle biologique
- **Le curage des grands axes**. L'arrachage des rhizomes est une opération difficile, qui ne peut être pratiquée qu'avec des pelles hydrauliques lors du curage. C'est la solution qui a été retenue pour la restauration de l'hydraulicité des
- ¹¹ Toutefois, la mission pourrait examiner dans quelles situations très précises la lutte chimique pourrait être envisagée et pour quelle durée (limitée) ; par exemple les parcelles de cultures envahies par le typha le temps de les récupérer. L'utilisation en milieu aquatique est a priori exclue car trop risquée.

grands axes par le PGIRE, mais elle est très coûteuse. Lorsque les cours d'eaux et canaux sont surcreusés à 2,5 m de profondeur, le typha ne peut pas repousser dans ces zones profondes, il peut par contre recoloniser les talus mais cela affecte moins l'hydraulicité des canaux et drains en question.

- L'étude examinera la durabilité des travaux de curage déjà réalisés du point de vue du contrôle du Typha, et la poursuite/ extension souhaitable de ces investissements
- **Aménagements de polders.** Les zones du lit majeur du Fleuve sous faible profondeur, actuellement envahies par le Typha, pourraient être réaménagées en Polder, planées et drainées, afin de les transformer en casiers rizicoles avec contrôle total du niveau d'eau. Le labour régulier et l'assèchement périodique permettraient d'éliminer le typha. Ces opérations supposent de gros investissements, et posent la question de la mise en valeur ultérieure, considérant notamment le fait que le potentiel de terres irrigables existantes actuel est encore loin d'être atteint.
 - Cette question sera approfondie dans la prochaine phase de l'étude
- **Gestion de la lame d'eau.** La mesure proposée par la SOGED consiste à **combiner lutte mécanique et gestion de l'eau**, en provoquant un assèchement temporaire du lit majeur du fleuve dans la retenue en fin de saison sèche de Mars à fin Mai (en ramenant le niveau de la retenue de 2,5 M à 1 m IGN)¹², permettant de faucher les typhaies à sec avec du matériel agricole classique, avec un coût bien moindre que celui du faucardage sous l'eau. Cet assec serait suivi par une re-submersion rapide en Juin, qui on l'espère éliminera les rhizomes ou du moins limitera la réinstallation du Typha dans les zones traitées. Le nouveau régime propose se rapprocherait des conditions "pré barrage". La récolte des résidus serait d'ailleurs combinable avec diverses formes de valorisation du typha, à des fins énergétiques ou de production de matériaux de construction. Par contre, cela suppose une contrainte supplémentaire pour l'irrigation de fin de saison sèche, qui pourrait être affectée négativement.
 - L'étude examinera si cette proposition a connu un début de mise en œuvre, sur des sous-secteurs précis comme initialement proposé par la SOGED, et réexaminera la faisabilité de la proposition, en fonction des changements intervenus depuis et des éventuels retours d'expérience
- **La suppression ou la réduction de l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs** est une autre approche qui devrait être examinée pour une lutte contre le typha et les plantes aquatiques en général sur le moyen-long terme.
- ¹² Certains experts ont suggéré, afin de limiter l'expansion du Typha consiste à limiter la hauteur maximum du plan d'eau en amont de Diama en saison sèche à 2m et non 2,50 m, ce qui réduirait les surfaces inondées et donc les zones propices au Typha. Cette mesure est techniquement assez facile à mettre en œuvre et peu coûteuse, par contre elle suppose une bonne coordination avec les organisations d'irrigants, et un bon entretien des axes primaires et secondaires pour l'irrigation (afin d'assurer le bon approvisionnement des périmètres irrigués) ainsi que des drains (afin de limiter les zones de stagnation des eaux de drainage issues des PI, très favorables au Typha). L'étude examinera si cette stratégie de limitation du niveau maximum est encore d'actualité et quelles en seraient les avantages et les limites potentielles.

- La mission étudiera la possibilité de mise en place d'un système d'une meilleure gestion des eaux de drainage pour éviter leur déversement dans les milieux sensibles.
- **La gestion du typha et sa valorisation** constituent la dernière approche possible. Dans certains secteurs, le typha pourrait être récolté à périodicité régulière, par une coupe au-dessus du niveau d'eau, permettant sa repousse régulière. Les tiges coupées seraient alors séchées puis transformées, soit en biocharbon, soit en matériaux de construction. Ces deux filières sont techniquement opérationnelles, mais ne sont pas encore passées à l'échelle commerciale. Les autres utilisations possibles (en vert) concernent la méthanisation, le fourrage pour les bovins, ou la production de compost. Cette gestion des typhaies ne limite pas l'expansion de la plante en tant que tel, mais permet de la garder sous contrôle. Elle est envisageable dans des zones où le typha ne gêne ni la pêche, ni l'approvisionnement en eau potable, et où potentiellement il joue au contraire un rôle de « filtrage » des eaux usées.
- On peut cependant imaginer une stratégie « mixte » d'éradication et de valorisation, si par exemple la SOGED décide de mettre en œuvre sa stratégie de lutte mécanique dans le réservoir de Diama, et qu'elle la programme sur 10 ans, elle pourrait passer un accord avec des opérateurs industriels ou communautaires pour leur fournir la matière première avant transformation.
 - La mission étudiera plus précisément quelles zones pourraient être réservées pour une gestion durable du typha avec les différents partenaires concernés et en particulier les collectivités locales et communautés d'usagers, et explorera la possibilité d'une stratégie mixte

Durabilité des diverses approches

Pour chacune des approches proposées, la question de la durabilité du contrôle sera posée. Toutes les méthodes supposent, après une intervention ponctuelle souvent assez lourde, des mesures de contrôle de la repousse pour éviter une ré-infestation rapide.

- La mission étudiera quelles sont les mesures d'accompagnement les plus efficaces et effectives économiquement ? Qui doit les mettre en œuvre ? Quel est leur coût, et comment au final peut-on caractériser un coût moyen annuel du contrôle du typha à long terme ?

Rôle des associations d'usagers et des collectivités locales

Il s'agit d'un point crucial pour la réussite de tout programme de contrôle, pour lequel nous avons trouvé peu d'informations actualisées dans la bibliographie. L'entretien des zones « libérées du typha » est indispensable pour éviter de nouvelles ré-infestations rapides, et il est certainement plus facilement assurable par les communautés locales que par les institutions nationales.

- Quels accords sont passés avec les diverses communautés d'usager, avec quel partage des coûts est une question cruciale qui devra être approfondie lors de la suite de l'étude, de même que la consolidation institutionnelle des divers comités d'usagers mis en place au cours des phases précédentes du PGIRE

Coordination des acteurs aux différents niveaux spatiaux

De même, la coordination des divers acteurs impliqués dans la gestion hydraulique et la gestion des ressources naturelles du Delta est également indispensable pour la plupart des solutions possibles. Cette coordination doit se produire au niveau local, régional, national et international pour être optimisée.

- La situation des plateformes de concertation (CLE...) multi acteurs sera analysée, aux différentes échelles géographiques

Zonage du typha

L'importance et la nature des impacts du typha varient largement d'une zone à l'autre. Dans certains cas, l'impact est très élevé, par exemple lorsque les typhaies bouchent les axes primaires et secondaires et limitent ou empêchent l'approvisionnement en eau de vastes zones irriguées. Dans d'autres cas, l'occupation est plus diffuse et les impacts concernent surtout la pêche et éventuellement la potabilité de l'eau. A la limite, il est fort possible que dans certaines zones précises, le typha joue un rôle utile de filtre végétal, soit vis à vis des eaux de drainage chargés en minéraux, voire même de décantation des eaux turbides à l'entrée d'un axe hydraulique (cas observé dans l'étude SOGED).

Il est assez évident que des méthodes de contrôle différentes, avec des niveaux d'intensité et de coûts également variables, vont devoir être utilisées selon ces diverses zones.

- L'étude ébauchera, à partir des observations sur le terrain et d'entretiens avec les diverses parties prenantes, une catégorisation des typhaies selon leur niveau d'impact socio-économique et écologique, en partant du niveau local, et croisera ces catégories avec les niveaux et techniques de contrôle souhaitables
- Les suites de l'étude se pencheront sur la question cruciale des zones de contrôle et leur hiérarchisation. Par exemple un tableau de ce type sera élaboré :

Types de milieux/zones	Effets du typha	Enjeu de ce milieu aquatique	Acteurs impliqués	Itinéraires de contrôle applicables
Axe hydraulique stratégique	sédimentation, obstruction	Rétablir l'hydraulicité des canaux	Associations d'Irrigants, SAED et SONADER...	
Berges de cuvette	Envahissement des carrés maraichers, obstruction de l'accès à l'eau	Récupérer des zones de culture de décrue, accès à l'eau pour la pêche et abreuver les animaux	Pêcheurs, Femmes, Communautés Rurales, Groupements maraichers...	A préciser
Lit majeur du fleuve et des grands marigots	Réduction de la surface du plan d'eau, évaporation accrue			
Bordures des grands lacs	Réduction de la surface du plan d'eau	Masse d'eau alimentant les grandes villes	OLAC, Services hydrauliques, agriculteurs, éleveurs, populations urbaines	
Zones de déversement des eaux de drainage	Problèmes sanitaires, impact écologiques		Agriculteurs et populations riveraines, Gestionnaires des parcs naturels (PND..)	
.....				

VII. BIBLIOGRAPHIE

AGRER, SERADE, SETICO, Étude pour la restauration hydraulique du Bassin du Fleuve Sénégal - Phase 1, Vol. 1 et 2, OMVS/SOGED, 2003.

ALEXANDER, H., A probabilistic design of a dike along the Sénégal River, mémoire de Master, Delft TU, 2012.

APFELBAUM, S.I., « Cattail (*Typha spp*) Management », *Natural Areas Journal*, Volume 5, Numéro 3, juillet 1985, p. 9-17.

BADER, J.-C., CAUCHY, S., DUFFAR, L., (et al.), Monographie hydrologique du fleuve Sénégal. De l'origine des mesures jusqu'en 2011, IRD/UMR G-Eau/SCP/iDEV/OMVS, 2015.

BADER, J.-C., Manuel de gestion du barrage de Diama, Dakar, OMVS, 2001.

BAZILE, A.C., VENNAT, B., DRESSAYRE, E., « Diagnostic institutionnel spécifique de la société nationale d'aménagement des terres du delta et de la vallée du fleuve Sénégal (SAED) », in Comité Scientifique et Technique Eau Agricole (COSTEA), *Rôle et place des sociétés d'aménagement dans le développement de l'irrigation en Afrique de l'Ouest, Diagnostic institutionnel spécifique de la société nationale d'aménagement des terres du delta et de la vallée du fleuve Sénégal (SAED)* – BRLi-IRD-SCP-CACG-AFEID-AFD-SAED, 2013., 2015.

BOINET, E., *Hydropolitique du fleuve Sénégal : limites et perspectives d'un modèle de coopération*, Paris, L'Harmattan, coll. « INTER-NATIONAL » 2013.

BOINET, E., *La Gestion Intégrée des Ressources en Eau du Fleuve Sénégal : bilan et perspectives*, mémoire de stage à la Division des Sciences de l'UNESCO, Université Paris Sud 11, 2011.

BOURGOIN, J., VALETTE, E., DIOP, D., (et al.), « Dynamique des espaces agricoles dans le delta du fleuve Sénégal » p. 52-53, in PESCHE, D., LOSCH, B., IMBERNON, J. *Une Nouvelle Ruralité Emergente, Regards croisés sur les transformations rurales africaines*, Montpellier, Cirad/NEPAD, 2016.

BURGEAP, Assistance Technique du Cofinancement du Royaume des Pays Bas auprès du Projet de gestion des ressources en eau et de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal (GEF/BFS), Rapport final de synthèse octobre 2010, Dakar, OMVS, 2010.

CABO, E.J.L., Impacts des végétaux aquatiques envahissants sur l'écoulement de l'axe hydraulique du Gorom Lampsar (Delta du fleuve Sénégal), mémoire de DEA, Université Gaston Berger de Saint-Louis au Sénégal (UGB), 2018.

CALESTREME, A., *Invasion de *Typha australis* dans le bassin du fleuve Sénégal*, diplôme d'études supérieures spécialisées productions animales en région chaudes, Université Montpellier II/ CIRAD, 2002.

CAGC, *Le Tableau de Bord de la ressource en eau du fleuve Sénégal : un outil d'aide à la gestion*, Séminaire du RIOB-DAKAR-21 et 22 janvier 2010, Adaptation aux conséquences du Changement Climatique sur les cycles hydrologiques dans les bassins transfrontaliers, Dakar, OMVS, 2010.

- COGELS, F.-X., THIAM, A., GAC, J.-Y., « Premiers effets des barrages du fleuve Sénégal sur le lac de Guiers », *Rev. Hydrobiol. trop.*, Numéro 26 (2), 1993, p. 105-117.
- CONSERVATOIRE ET JARDINS BOTANIQUES & SOUTH AFRICAN NATIONAL BIODIVERSITY INSTITUTE, *Base de données des plantes d'Afrique - Typha domingensis Pers.*, Genève, Conservatoire et Jardins Botaniques, 2012.
- D'AQUINO, P., « La gestion des zones inondables par les collectivités locales. Cas du delta du Sénégal », in *Gestion intégrée des ressources en zones inondables tropicales*, IRD, 2002.
- DE MARSILY, G. et TABACCHI, E., Quelques informations sur les problèmes des Typhas dans la vallée du fleuve Sénégal, Nogent-sur-Marne, Gret, 2016.
- DIA, S., « 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 facteurs d'inégalités dans le Delta du Sénégal ? », *VertigO*, Volume 12, Numéro 12, septembre 2012.
- DIAGNE, M.L, SARI, T., *Moyennisation du modèle de prolifération du Typha*, Université Gaston Berger de Saint-Louis/ Université de Haute Alsace Mulhouse/F IRSTEA Montpellier, 2012.
- DIAM, B.A., Recherche expérimentale sur la lutte contre le typha australis, PND/FFEM, 2006.
- DIAKHATE, M., « Permanence des eaux de surface et problématique de la prolifération des mauvaises herbes : le cas de *Salvinia molesta* dans le delta du fleuve Sénégal », *Revue de Géographie de Saint-Louis*, Numéro 4, 2004, p. 33-49.
- DIONE, Y., Participation du public et politiques d'accès à l'eau potable en milieu rural sénégalais. Les associations d'usagers des réseaux d'eau potable dans la région de Saint-Louis, thèse de Doctorat, Université Toulouse 3/ l'université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), 2014.
- DIOP, O., FOFANA, M.B., FALL, A.A., Caractérisation et typologie des exploitations agricoles familiales au Sénégal. Tome 1- Vallée du Fleuve Sénégal, Dakar, ISRA/SAEED/FNRAA, 2008.
- DIOP-NDAO, P., 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, Université Paris-Saclay/ l'université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), 2017.
- DIOUF, O., Cartographie de la végétation aquatique dans le bas delta du fleuve Sénégal : approche orientée objet sur l'évolution de la végétation et essai sur la discrimination du typha australis à l'aide d'indices, Riga, Éditions universitaires Européennes, 2016.
- DUVAL, S., « Modélisation hydraulique et gestion sociale de l'eau. Une expérience de gestion : la remise en eau du bassin du Béli (bas delta mauritanien du fleuve Sénégal). L'apport de la modélisation », in *Gestion intégrée des ressources en zones inondables tropicales*, IRD, 2002.
- FRÉROTTE, J.-L., Lutte contre le typha et la dégradation des berges dans le bassin du fleuve Sénégal, Royal Haskoning/ ORET/ OMVS, 2005.
- GiZ, Plan d'Aménagement et de Gestion Durable du Parc National du Diawling 2018-2022, 2018.
- GRACE, J.B., « Effects of Water Depth on *Typha latifolia* and *Typha domingensis* », *American Journal of Botany*, Volume 76, Numéro 5, mai 1989, p. 762-768.

HELLSTEN, S., DIEME, C., MBENGUE, M., (et al.), « Typha control efficiency of a weed-cutting boat in the Lac de Guiers in Senegal: a preliminary study on mowing speed and re-growth capacity », *Hydrobiologia*, Numéro 415, novembre 1999, p. 249-255.

HELLSTEN, S., AHONEN, H., DIEME, C., (et al.), Efficiency of a weed cutting boat for controlling Typha australis in the River Senegal: re-growth potential in relation to timing and cutting depth, Proceedings of the 11th EWRS International Symposium on Aquatic Weeds. European Weed Research Society/Cemagref, France, 2002.

HAMERLYNCK, O., DUVAIL, S., La restauration du delta du fleuve Sénégal en Mauritanie. Une application de l'approche écosystémique, Gland/ Cambridge , UICN Mauritanie, 2003.

HAMERLYNCK, O., « Crues artificielles et cogestion. La réhabilitation des plaines inondables au Sahel : le Waazasss Logone (Cameroun) et le bas-delta du Sénégal (Mauritanie) », in *Gestion intégrée des ressources en zones inondables tropicales*, IRD, 2002.

IAGF, OMVS, CNR, *Rendre le fleuve Sénégal navigable pour en faire un instrument de développement économique et d'intégration*, Compte-Rendu de la 6ème session internationale, Du 9 au 13 avril 2018. Saint-Louis / Dakar (Sénégal), 2018.

KAMARA, S., Développements hydrauliques et gestion d'un hydrosystème largement anthropisé. Le delta du fleuve Sénégal, thèse de Doctorat, Université Avignon/ Université Saint-Louis, 2013.

KANE, A., « Crues et inondations dans la basse vallée du fleuve Sénégal », in *Gestion intégrée des ressources en zones inondables tropicales*, IRD, 2002.

KANE, H.B., *Vision régionale de la problématique du typha (Mali – Mauritanie), rapport d'intervention*, CILSS, Programme Régional De Promotion Des Energies Domestiques et Alternatives au Sahel (PREDAS), atelier sur l'utilisation de la plante Typha australis à des fins énergétiques, Saint-Louis, 2002.

KANE, I., AKPO, L.E., « Croissance et production de Typha australis soumis à différents niveaux d'immersion », *Journal of Applied Biosciences* 86, 7928– 7939.

KONATÉ, N.M., Étude de la repousse après coupes sur différentes hauteurs de la plante Typha Australis (Schum. Et Thon) dans la région de Trarza en Mauritanie, 2015.

LAMAGAT, J.-P. et BADER, J.-C., *Gestion Intégrée des ressources en eau du bassin du Sénégal. Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs*, Actes de l'atelier du PCSI, 2-3 décembre 2003, Montpellier, Cirad/IRD/CEMAGREF, 2005.

LE ROY, X., Crédit et production agricole dans la vallée du fleuve Sénégal, IRD, 2011. Chapitre d'un livre à paraître chez l'Harmattan de Patrick PILLON. La question alimentaire dans la mondialisation : le cas de l'agriculture sénégalaise.

LEROY, M., Analyse stratégique de dispositifs de gestion environnementale territorialisés. Le cas du fleuve Sénégal, Montpellier, AgroParisTech, 2012.

LEROY, M., Gestion stratégique des écosystèmes dans un contexte d'aide internationale. Engagements environnementaux et dispositifs de gestion dans la vallée du fleuve, thèse de Doctorat, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts Paris, 2004.

LINZ, G.M. et HOFFMAN, H.J., « Use of glyphosate for managing invasive cattail (*Typha* spp.) to disperse blackbird (Icteridae) roosts », *Crop Protection*, Numéro 30, 2011, p. 98-104.

LOUM, S., Usage et gestion de l'eau dans le marigot du Ngalam et ses tributaires. Contribution à l'hydrologie des milieux aménagés, Mémoire de maîtrise en géographie, Université Gaston Berger de Saint-Louis au (UGB), 2006.

LY, O. K. et ZEIN, S. A. O. M., Évaluation économique d'une zone humide : le cas du Diawling, Mauritanie, Gland, UICN, 2009.

MAGREGA A. et MILIC L. Guide technique pour la récupération d'une zone de pêche suite à la coupe de *Typha australis*. Paris, GRET et PND, 2016

MAR, E.H., *Étude comparative des coûts des aménagements hydro-agricoles dans la vallée du fleuve Sénégal de 1990 à 2008*, mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome, Université Thiès/ École Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), 2011.

MBADE SÉNÉ, A., « Développement durable et impact des politiques publiques de gestion de la vallée du fleuve Sénégal : du régional au local », *VertigO*, Volume 9, Numéro 3, décembre 2009.

MBOUP, M., Changements socio-environnementaux et dynamique de la végétation aquatique envahissante dans le delta du fleuve Sénégal, thèse de Doctorat Unique, Université Dakar/Université Paris 7, 2014.

MIAO, S., NEWMAN, S., SKLAR, F.H., « Effects of water habitats nutrients and seed sources on growth and expansion of *Typha domingensis* », *Aquatic Botany*, Numéro 68, 2000, p. 297-311.

MIETTON, M., DUMAS, D., HAMERLYNCK, O., (*et al.*), « Le delta du fleuve Sénégal. Une gestion de l'eau dans l'incertitude chronique », congrès *Incertain et Environnement*, novembre 2005, Arles 2008, p. 321-336.

MOTIVANS, K. et APFELBAUM, S., *Element Stewardship Abstract For Typha spp. North American Cattails*, Arlington, The Nature conservancy, 1987.

MOUHAMADOU, D., Le barrage de Diama : essai sur l'évaluation de ses impacts potentiels, 1985.

NDIAYE, A., Impacts environnementaux, socioculturels et Économiques du Barrage de Diama sur la population de la communauté rurale de Diama, mémoire de Master en sociologie, Université Gaston Berger de Saint-Louis au Sénégal (UGB), 2010.

NDIAYE, T. et PHILIP, J.-M., Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du fleuve Sénégal, Dakar, SCP-OMVS, 2010.

NDIAYE, E.H.M., « Le fleuve Sénégal et les barrages de l'OMVS : quels enseignements pour la mise en œuvre du NEPAD ? », *VertigO*, Volume 4, Numéro 3, 2003.

NGOM, F. D., TWEED, S., BADER, J.-C., (*et al.*), « Rapid evolution of water resources in the Senegal delta », *Global and Planetary Change*, Volume 144, septembre 2016, p. 34-47.

NUSCA, A., BARRY, M.e.H., JOLIVEL, M., (*et al.*), « Enjeux et impacts des barrages de Diama (Mauritanie) et Arzal (France) : des contextes socio-économiques et environnementaux différents pour de mêmes conséquences », *Noroi*, Numéro 203, 2007/2, p. 51-66.

- OMVS, Rapport sur l'état de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal, 2011.
- OMVS, Suivi par télédétection de la prolifération des plantes aquatiques envahissantes dans le delta du fleuve Sénégal, 2013.
- PARADIS, E., Effet de la salinité sur la compétition entre le roseau (*Phragmites australis*) et les quenouilles (*Typha spp.*), mémoire de Master, Université de Montréal, 2008.
- PATEO, *Sciences participatives, gouvernance des patrimoines et territoire des deltas*, Actes du colloque international du laboratoire mixte international « Patrimoines et Territoires de l'eau ». Du 11 au 14 mai 2016, St-Louis. IRD / Paris, L'Harmattan, 2016.
- PNEEB/TYPHA, Capitalisation des résultats de recherches et expériences sur le typha, UNDP-GEF, 2014.
- PLUS, Bertrand, « Aperçu sur le typha. » ; « Quelques rappels », in *Rapport de mission d'Avril 2008*, Saint Rémy-les-Chevreuse, CERADS, 2008.
- SALL, M., Dynamique et morphogenèse actuelles au Sénégal occidental, thèse d'État Strasbourg, 1982.
- SARR, N.L., Aspects socio-économiques de la prolifération de *Typha domingensis* dans le delta du fleuve Sénégal, mémoire de DEA, Université ISE Dakar, 2003.
- SIRENA, Une plateforme participative au service de la gouvernance du delta transfrontalier du fleuve Sénégal, 2006.
- ROBERTS, J. et KLEINERT, H., *Managing Typha and Phragmites, Report form workshop held 16th June 2014*, North Central Catchment Management Authority, 2015.
- ROUVIÈRE, M.C., CISSE, A., BAKAYOKO, B., (et al.), Capitalisation des expériences du volet développement institutionnel de l'Assistance Technique, Vol. 1 et 2, BURGEAP/OMVS, 2010.
- SARR, A.K. et DANCETTE, C., Efficacité du contrôle du typha par le fauchage/ Valorisation fourragère, Rapport final, Rosso, novembre 2001, CNRADA/ PSI/ CIRAD, 2001.
- SÉMÉGA, B.M., Rapport sur le diagnostic hydrologique du Parc National du Diawling, Rapport provisoire, PARCE/ PND/ RBT, 2012.
- SOGED, Programme de Restauration du réseau hydraulique du bassin du fleuve Sénégal, Rapport définitif, SOGED, 2005.
- TAÏBI, A.N., BARRY, M.e.H., SENGOR, M., (et al.), Le bas delta du fleuve Sénégal face aux risques de dégradation et conflits d'usage dans un contexte de restauration des écosystèmes et des activités. Approche par les outils d'analyse spatiale, Université Angers, 2006.
- THEUERKORN, W., HENNING, R.K., Énergies renouvelables : le typha australis : menace ou richesse ?, PREDAS-CILSS, 2005.
- THIAM, O., Le barrage de Diama. Évaluation des avantages sociaux et environnementaux de la retenue d'eau, Paris, L'Harmattan, 2013.

THIAM, A., Étude de la flore vasculaire, de la végétation et des macrophytes aquatiques proliférants dans le Delta du fleuve Sénégal et le Lac de Guiers, thèse de Doctorat d'État, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), 2012.

THIAM, A., 1983. *Typha australis* SCHUM et THONN: une entrave au développement socioéconomique des rives du Lac de Guiers. Actes du Colloque I.S.E, Dakar, Sénégal, 1983, p. 134-138.

TROPIS TROPICAL SERVICE, TROPICA ENVIRONMENTAL CONSULTANTS, Étude d'impact environnemental et social complémentaire aux travaux d'aménagement dans le delta de la vallée du fleuve Sénégal, Rapport final, Programme de Développement des Marchés agricoles du Sénégal (PDMAS), 2008.

VIII. B) LISTE DES RAPPORTS TECHNIQUES ET INSTITUTIONNELS

•

(TF3) – Trust Fund 3

- (Frérotte-Hydro-Consult, Bousnika S3R Consulting, Assane Soumaré, 2014) –

Rapport de formulation de la troisième phase du projet GIRE Trustfund (2014-2017).
Actualisé le 28 février 2014 (suite à l'atelier organisé par l'OMVS à Saly – Sénégal).
Rapport final draft 15/01/2014

- (RoyalHaskoningDHV-Ecorys, Juillet 2013) – Evaluation des phases 1 et 2 du projet GIRE Trustfund. Grandes lignes pour la phase 3. Rapport de mission de revue des acquis
- (OMVS, Janvier 2018) – Etat d'avancement des activités du TF III. Revue à mi-parcours et pré-identification PGIRE III. Dakar, du 22 janvier au 02 février 2018. Présentation

(TF2) – Trust Fund 2 – Projet de gestion des ressources en eau et de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal. Programme de cofinancement du Roy. des Pays-Bas

- (C. Bastiaansen & Samba Yade, Octobre 2008) – Mission de formulation du projet complémentaire de la lutte contre les végétaux aquatiques nuisibles comme le Typha
- (C. Bastiaansen & Samba Yade, Août 2008) – Mission de formulation de la deuxième phase du projet de gestion intégrée des ressources en eau et lutte contre les plantes aquatiques comme le Typha. Volet 1. Edition provisoire
- (OMVS, Janvier 2011) – Rapport d'exécution finale. Haut-Commissariat
- (OMVS, Avril 2013) – Projet de lutte contre les végétaux aquatiques envahissants. Rapport d'achèvement des activités

(TF1) – Trust Fund 1 – Financement du Royaume des Pays-Bas dans le cadre du projet FEM/BFS – OMVS

- (Royal Haskoning, Février 2005) – Formulation du projet de gestion intégrée et amélioration du bassin du fleuve Sénégal. Financement du Royaume des Pays-Bas dans le cadre du projet FEM/BFS. Rapport provisoire
- (Royal Haskoning, September 2005) – Fight against Typha and erosion of the riverbanks in the watershed of the river Senegal – Présentations
- (OMVS, Février 2008) – Rapport d'exécution technique et financière du programme du cofinancement du Royaume des Pays-Bas (GEF/BFS/OMVS)

- (Burgéap-Sémis) – Assistance technique du cofinancement du Royaume des Pays-Bas auprès du Programme de gestion des ressources en eau et de l’environnement du bassin du fleuve Sénégal (GEF/BFS/OMVS)
 - Capitalisation des expériences du volet développement institutionnel de l’Assistance Technique (Mai 2010) :
 - Volume 1 : Leçons apprises, questions ouvertes et orientations pour le futur
 - Volume 2 : Etat des lieux des structures organisées autour de la GIRE : AdU - Unions d’AdU – CLE – AdU AEP (Mai 2010)
 - Rapport final de Synthèse (Octobre 2010) + Annexes

(PND) – Parc National du Diawling > Documentation du parc > Bibliothèque virtuelle
http://www.pnd.mr/pnd/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=144

- (PND, Mars 2018) – Plan d’aménagement et de gestion 2018-2022
- (Bakari Mohamed Séméga, Mars 2012) – Diagnostic hydrologique

(PNEEB/TYPHA)- Programme national de réduction des émissions de gaz à effet de serre à travers l’efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment et projet de production de matériaux d’isolation thermique à base de Typha (Sénégal) – PNUD/GEF –
<http://www.pneebtypha.org/content/publication>

- (DEEC, Juin 2015) – Evaluation environnementale stratégique du projet de production de matériaux d’isolation thermique à base de Typha au Sénégal
- (PNEEB, Juillet 2014) – Capitalisation des résultats de recherches et expériences sur le Typha
- (PNEEB, Juillet 2014) – Situation de référence de la biodiversité dans les zones de peuplement en Typha
- (PNEEB, Juillet 2014) – Recueil bibliographique des ouvrages sur le Typha
- (PNUD/GEF) – Transfert de technologie : Production de matériaux d’isolation thermique à base de Typha au Sénégal. Document de projet (2012 – 2016)

(SDAGE) – Schéma Directeur d’Aménagement et de Gestion des Eaux du Fleuve Sénégal – Groupement SCP-CACG-SIEE :

- (SCP, Février 2011) – Phase 3 : Schéma Directeur. Atlas Cartographique
- (SCP, Février 2011) – Phase 3 : Schéma Directeur. Annexes
- (SCP, Février 2011) – Phase 3 : Schéma Directeur
- (SCP, Octobre 2010) – Phase 2 : Schémas Sectoriels. Atlas Cartographique
- (SCP, Septembre 2010) –Phase 2 : Schémas Sectoriels. Annexes
- (SCP, Septembre 2010) – Phase 2 : Schémas Sectoriels.
- (SCP, Décembre 2009) –Rapport de Phase 1 : Etat des Lieux et Diagnostic.

(PDMAS) – Programme de développement des marchés agricoles du Sénégal / ACDI

- (Tropis-Tropica, Septembre 2008) – Etude d'impact environnemental et social complémentaire relative aux travaux d'aménagement dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal. Rapport. Version finale. Ministère de l'Agriculture

(OMVS/SOGED, Septembre 2004) – Etude pour la restauration du réseau hydraulique du bassin du fleuve Sénégal (financement Fonds Africain de Développement) – Groupement AGRER (Belgique) / SERADE (Mauritanie) / SETICO (Sénégal) :

- Phase 1 : Contexte et bilan diagnostic – Rapport final (Septembre 2004) :
 - Volume 1 : Texte principal (1^{ère} partie) – Chapitres 1 à 3
 - Volume 2 : Texte principal (2^{ième} partie) – Chapitres 4 à 9
 - Volume 3 : Annexes
 - Pochette contenant : cartes du réseau hydrographiques
- Phase 2 (mars 2005) :
 - Volume 5 : Rapport de faisabilité – version définitive
 - Volume 6 : Rapport de formulation – version définitive

(OMVS/POGR) – Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs – IRD

- (J.-C. Bader, Octobre 2001) – Manuel de gestion du barrage de Diama – IRD
- (P. Kosuth, F. Corniaux, S. Touzi, Juin 1999) – Expertises sur les impacts environnementaux. Addendum à la version provisoire. Tome 5 – Mission française de coopération
 - A : Agriculture de décrue
 - B : Irrigation

- C : Populations
- D : Elevage
- E : Eaux souterraines
- F : Qualité des eaux

OMVS-CNR-IAGF Rendre le fleuve Sénégal navigable pour en faire un instrument de développement économique et d'intégration. Initiative pour l'Avenir des Grands Fleuves, 2018 – 6ième session internationale. Du 9 au 13 Avril 2018, St-Louis/Dakar

OMVS-SOGED – Proposition de projet « Sécurisation des populations et des écosystèmes autour du barrage de Diama, dans le delta du fleuve Sénégal ». UNECE, 23-25 Octobre 2017

(PERACOD) – Programme de l'Electrification Rurale et de l'Approvisionnement en Combustibles Domestiques – GiZ/Direction de l'Energie/SAED

- (PERACOD, Novembre 2006) – Etude finale sur la faisabilité technico-économique du développement d'une filière de valorisation du Typha australis en combustible domestique par la technologie de carbonisation « 3 fûts » dans le delta du fleuve Sénégal

(PED Sahel) – Programme Energie Domestique Sahel (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad) en collaboration avec le Projet Sénégal-Allemand Combustibles Domestiques :

- (Salla Dior DENG, Janvier 2001) – Possibilités d'utilisation du Typha comme combustible domestique au Sénégal (21 pages)

(CILSS) – Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel

- (TyphaTechnik-Bagani, 2000 ?) – Energies renouvelables. Le Typha australis : Menace ou richesse ? Brochure. Coopération allemande / PREDAS