

Évaluation de la salinité de l'eau et de la biomasse de *Typha australis* et de son impact sur la qualité du charbon produit dans la région de Trarza en Mauritanie

Nianguir Moussa KONATE^{1*}, Babana OULD MOHAMED LEMINE³, Atiya OULD ABDALLAHI^{1,2}, Benjamin TROUILLEUX⁴ et Hamidou DIENG²

¹ Département de Production et de Protection Végétale, Institut Supérieur de l'Enseignement Technologique (ISET), Rosso, Mauritanie

² Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, de Technologie et de Médecine (USTM), BP 5026, Nouakchott, Mauritanie

³ Département de Génie Electromécanique, Institut Supérieur de l'Enseignement Technologique (ISET), Rosso, Mauritanie

⁴ Professionnels du Développement Solidaire (GRET), BP 5261, ZR 573, TVZ, Nouakchott, Mauritanie

* Correspondance, courriel : niangsfall@yahoo.fr

Résumé

Le principal objectif de ce travail était de déterminer le niveau de salinité de la biomasse de *Typha australis* récoltée pour pouvoir éviter d'une manière rapide et efficace les effets négatifs de sels sur la qualité du charbon écologique produit. Les mesures effectuées sur la salinité de l'eau aux alentours des plantes et les mesures des extraits sur la biomasse sèche ont permis de déterminer d'une manière précoce le degré de la salinité au niveau de la biomasse. La tendance suivie par la salinité de l'eau et l'accumulation de sels au niveau de la biomasse se constate : une élévation de taux de proline (acide aminé accumulée en large quantité en cas de stress salin ou de déficit hydrique au niveau des plantes) sur les plantes de Bouhajra par rapport à celles de Garack. Le niveau de sels et d'humidité relative élevés sur la biomasse donnent un charbon de mauvaise qualité : humidité sur brute et temps d'allumage élevés, pouvoir calorifique moindre, temps d'ébullition et taux de cendres élevés. Des mesures préalablement effectuées sur le niveau de la salinité de l'eau de sites de récolte et le ciblage de peuplement de *Typha australis* qui se développe dans des profondeurs optimales en eau permettent de produire un charbon écologique en grande quantité et de bonne qualité pour des unités artisanales.

Mots-clés : *Typha australis*, récolte de biomasse, charbon écologique, salinité, pouvoir calorifique, Trarza, Mauritanie.

Abstract

Evaluation of the salinity of the water and biomass of *Typha australis* and its impact on the quality of the coal produced in Trarza region of Mauritania

The main objective of this work was determined the salinity level of the *Typha australis* biomass harvested in order to avoid a fast and efficient way the negative effects of salt on the quality of the clean coal product. Measurements on the salinity of the water around the plants and extract it on the steps of dry biomass have

identified an early stage the degree of salinity level of biomass. The trend followed by the salinity of the water and salt accumulation at the biomass emerges : a proline levels rise (amino acid accumulated in large quantities in the case of salt stress or water stress in plants) on Bouhajra plants compared to those of Garack. The level of salts and high relative humidity biomass give a poor quality coal : moisture on gross and high ignition time, lower calorific value, boiling time and high ash content. Measures previously carried out on the level of salinity of harvesting sites and targeting settlement *Typha australis*, which grows in water depths optimum, can produce a clean coal in large quantities of good quality for craft units.

Keywords : *Typha australis*, biomass harvesting, clean coal, salinity, calorific power, Trarza, Mauritania.

1. Introduction

Depuis la fin des années 1960, la région sahélienne est gravement affectée par une répétition de déficits pluviométriques. Les précipitations sont sensiblement en dessous des normales des 30 dernières années [1 - 4]. Les conséquences de ce déficit pluviométrique ont été très catastrophiques sur le couvert végétal, les cultures, l'élevage et sur le monde rural d'une manière générale [3, 5]. C'est en réponse à cette situation récurrente que l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS), créée en 1972 engage un ambitieux programme d'investissement dans des infrastructures de maîtrise de l'eau du fleuve Sénégal [6]. Les barrages de Diama (en aval) et de Manantali (en amont) sont les pivots de ce programme. Les deux ouvrages (Diama et Manantali) ont été planifiés dans la décennie 1970 et seront mis en services respectivement en 1986 et 1988. Ces investissements ont entraîné des modifications profondes du régime hydrologique du fleuve, mais aussi de l'environnement biophysique et socio-économiques du bassin [6, 7]. Le barrage de Diama dont le premier but était d'empêcher les remontées d'eaux salées dans le cours du fleuve a finalement entraîné plusieurs conséquences nuisibles [6]. D'une part, une salinisation des terres et de certaines eaux rendues impropres à l'usage tant par les populations locales que par la faune et la flore. D'autre part, la création d'une grande étendue d'eau douce en amont du barrage, a favorisé le développement de maladies hydriques qui touchent les hommes, le bétail et à la faune, mais surtout la prolifération de plantes envahissantes comme *Salvinia molesta* (la fougère d'eau), *Pistia stratiotes* (la laitue d'eau), *Phragmites australis* (roseau) et surtout *Typha australis* (massette).

En 2006, la superficie occupée par *Typha australis* était de plus de 100 000 Ha et la progression se fait à une vitesse de 10 % par an [7], elle a été évaluée dans les limites du PND (Parc National de Diawling) par le projet Typha à 400 Ha / an (4081 Ha en 2005 et 6964 Ha en 2012). En dépit de la panoplie de méthodes utilisées ou proposées pour limiter la prolifération de *Typha australis*, le phénomène de propagation de typha, se poursuit [8]. Cette propagation constitue aujourd'hui encore une problématique majeure de développement pour les décideurs et gestionnaires de la vallée du fleuve Sénégal. Face à cette situation le GRET (Professionnels du développement solidaire) en partenariat avec l'ISET de Rosso et PND, développe depuis 2011 le « PROJET TYPHA » de Promotion du charbon de *Typha australis* en alternative au charbon de bois avec l'installation de plusieurs unités artisanales de fabrication. Ainsi, au lieu d'une destruction massive par coupe ou par brûlis, le PROJET TYPHA tente d'utiliser cette plante envahissante comme alternative devant préserver d'autres espèces ligneuses menacée par la fabrication du charbon de bois. Dans le cadre des activités de ce projet, l'unité artisanale de Bouhajra (PND) a émis une hypothèse que le niveau de sels dans la biomasse de *Typha australis*, pourrait altérer sérieusement la qualité du charbon et compromettre ainsi sa production à l'échelle locale. La nécessité de vérifier une telle hypothèse est à la base de ce travail. Pour atteindre cet objectif, les travaux planifiés s'articulent autour des objectifs spécifiques suivants :

- évaluer le niveau de salinité de l'eau environnant, des sels accumulés dans la biomasse et de la concentration de la proline dans la plante *Typha australis* ;
- évaluer la quantité et l'humidité relative de la biomasse produite par la plante *Typha australis* ;
- évaluer leurs impacts sur la qualité des charbons produits.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation et descriptions des deux sites expérimentaux

Les expérimentations ont été effectuées dans deux sites distants d'environ 70 km, utilisés pour la production de biomasse de *Typha* pour la fabrication du charbon par le Projet *Typha* :

- Le site de Bouhajra, au niveau de PND (déclaré site Ramsar en 1994) est situé entre 16° 05' et 16° 35' N, et 16° 20' et 16° 30' W ;
- Le site de Garack, village situé au nord-ouest de la ville de Rosso de coordonnées GPS : 16° 32' 47.41''N ; 15° 46' 1.30''W.

2-2. Matériel végétal utilisé

Nous avons utilisé comme matériel végétal, la biomasse d'une population de *Typha australis* mature en végétation libre au niveau des deux sites de récolte (Bouhajra et Garack). Nos campagnes de récolte de biomasse ont été effectuées en Juin 2014.

2-3. Protocole expérimental

Au niveau de chaque site expérimental, nous avons évalué la salinité de l'eau et de la biomasse, la quantité de la biomasse récoltée et l'humidité relative et la teneur en proline de cette biomasse. Tous ces paramètres sont mesurés au niveau d'une unité expérimentale qui est une placette d'un mètre carré (1 m²) délimité par un mètre carré préfabriqué et fait en fer. Au niveau de chaque site les mesures sont faites sur deux zones différentes selon la profondeur de l'eau : une zone peu profonde (PP) de 5 à 10 cm de profondeur et une zone profonde (P) de 50 à 70 cm de profondeur. Sur chaque site, nous avons donc deux zones. Soit (6 x 2) = 12 carrés par site, 12 carrés pour le site de Garack (GPP et GP) et 12 carrés pour le site de Bouhajra (BPP et BP). L'évaluation des paramètres de qualité du charbon est réalisée sur une unité de masse de charbons et la procédure d'évaluation sera présentée spécifiquement en fonction du paramètre considéré (évaluation des paramètres).

2-4. Evaluation des paramètres

2-4-1. La biomasse sèche

La biomasse sèche (BMS) trouvée sur chaque unité expérimentale a été déterminée à partir d'un prélèvement d'un échantillon de trois plants choisis au hasard à partir de la biomasse de la matière fraîche totale (BMF) récoltée sur 1 m². Chaque échantillon a été pesée et séché dans une étuve (Binder D-78532 Tuttlingen Germany) à 75 °C pendant 3 jours pour la détermination de la matière sèche totale produite (BMS) par pesée à l'aide d'une balance fixe (model Trooper Count TC3RS). Nous avons également déterminé l'humidité relative en pourcentage (HR) de BMS par l'expression suivante :

$$HR(\%) = \frac{BMF - BMS}{BMF} \times 100 \quad (1)$$

2-4-2. Le niveau de la salinité de l'eau du site de récolte

Une prise d'un échantillon d'eau par mètre carré a été effectuée avant chaque récolte pour mesurer les sels totaux du mètre carré au laboratoire par un conductimètre électrique de marque HI9828. Soit 12 échantillons d'eau par site. La conductivité électrique (EC) mesurée est liée de façon proportionnelle à la concentration totale des différents ions en solution [9]. Les concentrations en NaCl sont pratiquement des variables expliquant la plus forte partie de la variation des mesures de conductivité, car NaCl est fortement soluble, c'est-à-dire pratiquement toujours dissocié en solution.

2-4-3. Le niveau de salinité de la biomasse récoltée

Il a été évalué en utilisant la méthode de [9], que nous avons modifiée pour l'appliquer aux extraits de BMS de *Typha australis*. La mesure directe de l'EC (à l'aide d'un conductimètre électrique de marque HI9828) est faite sur une solution extraite des organes de 6 plantes choisies au hasard sur 3 carrés par site. Les 6 plants ont été découpées chacune en quatre parties (partie basse de la tige, partie haute de la tige et de même pour la feuille) à l'aide d'un sécateur. Chaque partie a été conservée séparément dans des enveloppes en papier. EC de chaque partie a été mesuré et la moyenne de ces quatre EC représente EC pour une plante. Soit ((3 carrés x 6 plantes) x 4 organes) x 2 sites = 144 mesures. La grandeur mesurée par cet appareil est exprimée en $\mu S / cm$ qu'il faut convertir en g / kg de sels en fonction de la quantité de BMS utilisée. La méthode permet de déterminer la quantité de sels présentes dans un substrat peu importe son degré de saturation. Dans notre cas, pour déterminer EC d'un échantillon, nous avons utilisé 5 g de BMS découpées en fins petits morceaux, pesées à l'aide d'une balance sensible (Advanture pro AV 264C) et dissout dans 100 ml d'eau ultra pure de EC nulle. Le mélange a été homogénéisé par un agitateur (New brunswickscientific excella E1 platform shaker) pendant 10 minutes. Après 16 heures au repos, le mélange a été agité de nouveau pendant 10 minutes et filtré à l'aide d'un tunnel recouvert de papier filtre. C'est à partir de cette solution que nous avons mesuré EC.

2-4-4. La teneur en proline de la biomasse

Elle a été déterminée par la méthode de [10], basée sur le principe de la technique de quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotomètre. La proline est un acide aminé utilisé en indicateur de stress au niveau des végétaux [11, 12]. Nous avons effectués les mesures sur trois individus par sites (zone inondée respectivement pour le site de Garack et de Bouhajra). Nous avons estimé sur chaque individu la teneur en proline d'un échantillon de la partie basse et un échantillon sur la partie haute de la tige et de même pour la feuille. La moyenne de ces quatre parties représente une mesure pour une plante.

2-5. Estimation des propriétés physico-chimiques du charbon

2-5-1. Humidité sur brute

Elle a été déterminée en séchant à l'étuve un échantillon de poids connu et en utilisant *l'Équation (2)*. L'échantillon doit contenir entre 50 et 100 g de combustible. L'humidité sur brut en pourcentage est calculée selon cette *Formule*:

$$H_b(\%) = \frac{m_{eau}}{m_{humide}} \times 100 = \frac{m_h - m_0}{m_h - m_p} \times 100 \quad (2)$$

m_p : masse en gramme du plateau vide ;

m_h : masse en gramme du plateau et de l'échantillon avant séchage ;

m_0 : masse en gramme du plateau et de l'échantillon après séchage.

2-5-2. Taux de cendres

Le pourcentage de cendres est le rapport entre la masse du résidu après incinération et la masse de l'échantillon anhydre. L'échantillon est incinéré jusqu'à masse constante à une température de $850 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ dans un four à moufle (Tecno-piro modèle 3102). L'échantillon est d'abord broyé et doit être compris entre 1 et 2 g. Le taux de cendres C (%) est exprimé par la **Formule** :

$$C (\%) = \frac{M_{cendres}}{M_{anhydre}} = \frac{M_F - M_C}{M_T - M_C} \times 100 \quad (3)$$

M_C : la masse du creuset en gramme ;

M_T : la masse totale du creuset et de l'échantillon avant incinération en gramme ;

M_F : la masse finale du creuset et des cendres après incinération en gramme.

2-5-3. Pouvoir calorifique inférieur humide (PCI_h)

Le pouvoir calorifique représente la quantité d'énergie contenue dans une unité de masse de combustible. On distingue : Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS) ; Quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de masse de combustible avec récupération par condensation de l'énergie contenue dans la vapeur d'eau produite lors de la combustion.

2-5-4. Pouvoir calorifique inférieur sec (PCI_s)

Quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de masse de combustible sans récupération de l'énergie contenue dans la vapeur d'eau issue de la combustion.

2-5-5. Pouvoir calorifique inférieur humide (PCI_h)

Quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de masse de combustible sans récupération de l'énergie contenue dans la vapeur et en prenant en compte l'énergie perdu du à la présence d'eau dans le combustible. Le principe est basé sur une réalisation d'une combustion parfaite dans une bombe calorimétrique (Parr Instrument Company 1108 Oxygen Combustion Vessel) en acier très conductrice de la chaleur. La combustion est dite parfaite car on y introduit un comburant en excès, le dioxygène (O₂), sous forte pression. Cette bombe calorimétrique munit d'un système de mise à feu, est placé dans un récipient adiabatique (pas d'échange thermique avec l'extérieur) rempli préalablement d'une quantité d'eau connu et équipé d'un agitateur. L'étalonnage de la bombe calorimétrique à l'aide d'un combustible (acide benzoïque) dont on connaît le PCS nous permet de connaître la capacité du système calorimétrique (eau et accessoires) à emmagasiner de l'énergie thermique. Par comparaison, on peut calculer le PCS d'un échantillon inconnu. Le pouvoir calorifique inférieur sec est calculé ensuite à partir du taux massique d'hydrogène du combustible et le pouvoir calorifique inférieur humide est calculé à partir du taux d'humidité sur brut du combustible. L'échantillon de combustible doit peser environ 1 g. Le pouvoir calorifique supérieur est déterminé par la **Formule** suivante :

$$PCS = \frac{C \times (T_f - T_i) - PC_f \times (L_i - L_f)}{m_h} \text{ (kJ/kg)} \quad (4)$$

C : capacité thermique du système calorimétrique en J / K ;

T_i : température initiale en degrés Celsius ;

T_f : température finale en degrés Celsius ;

PC_f : pouvoir calorifique du fil d'allumage en J / cm ;

L_f : longueur de fil d'allumage restant en cm ;

L_i : longueur de fil d'allumage initial en cm ;

m_h : masse de l'échantillon de combustible en gramme.

Le pouvoir calorifique inférieur sec se calcule selon la **Formule** suivante :

$$PCI_s = PCS - 25,11 \times 9 \times H\% \text{ (kJ/kg)} \quad (5)$$

$H\%$: la teneur massique d'hydrogène en pourcentage du combustible sur masse sèche.

On obtient le pouvoir calorifique inférieur humide avec la **Formule** suivante :

$$PCI_h = \left(\frac{100 - H_b\%}{100} \right) \times PCI_s - 25,11 \times H_b\% \text{ (kJ/kg)} \quad (6)$$

$H_b\%$: l'humidité sur brut du combustible exprimé en pourcentage.

2-5-6. Facilité d'allumage

Pour ce faire, un dispositif a été conçu à l'ISET pour maintenir un échantillon de combustible sous une flamme semblable à celle d'un briquet traditionnel. Le temps nécessaire pour que l'échantillon démarre sa combustion est mesurée en seconde. L'allumage est d'autant plus facile que le temps mesuré est faible. Prélever un échantillon adapté au support disponible. Un échantillon de référence est nécessaire pour mesurer le taux d'humidité. La facilité d'allumage est évaluée par le temps nécessaire pour parvenir à allumer une partie du combustible. L'allumage dépend de l'humidité contenue dans le combustible, les résultats doivent faire référence à l'humidité de l'échantillon. La précision des mesures est satisfaisante si les essais de répétabilité donnent des résultats qui diffèrent de moins 7 secondes.

3. Résultats et discussion

3-1. Salinité de l'eau et de la biomasse

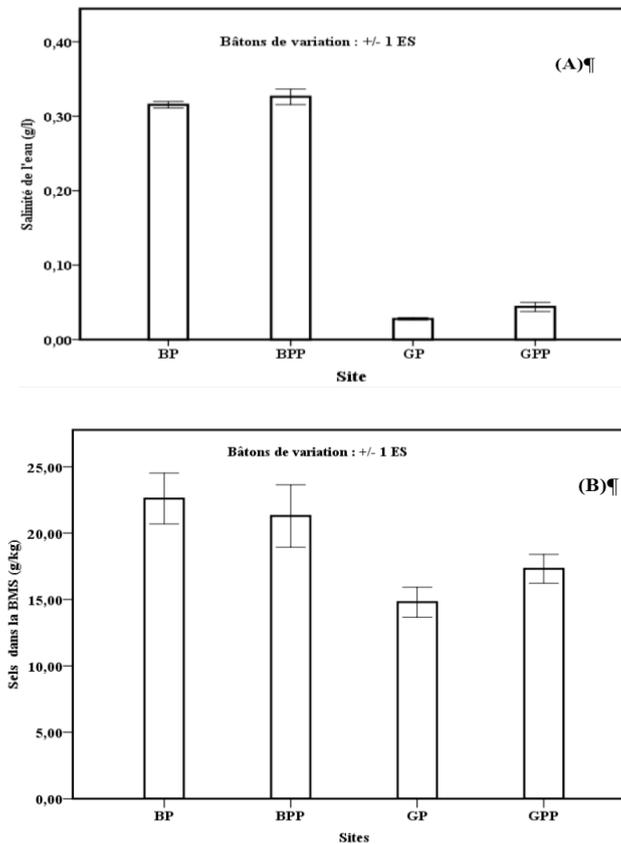


Figure 1 : Niveau de salinité de l'eau prélevée dans les carrés d'expérimentation (A) et de la plante entière en fonction du site et de la profondeur de l'eau (B)

Tableau 1 : Résultats de l'analyse de variance des paramètres étudiés

Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	P <
Site	BMS (Kg / m ²)	12,584	3	4,195	4,862	,011
	salinité de l'eau (g / L)	,488	3	,163	639,066	,000
	HR %	1902,289	3	634,096	12,589	,000
	Sels BMS (g / kg)	1,283	3	,428	4,445	,015

ddl : degré de liberté, F : selon Fisher, P : probabilité

Le niveau de la salinité de l'eau ainsi que la salinité de la biomasse varie de manière significative en fonction de la profondeur au niveau des sites de récolte de Bouhajra et de Garack (**Tableau 1**). Les résultats obtenus ont montré que plus la salinité de l'eau est élevée, plus la biomasse contient de sels (**Figures 1A et B**). Ce résultat peut expliquer quelques démarches du PROJET TYPHA, qui consistent à ne récolter que la biomasse végétale dans une zone moins salée surtout aux environs de Garack. Les valeurs moyennes de la salinité de l'eau varient de 0,04 g / L par m² (GP et GPP) à 0,3 g / L par m² (BP et BPP) et celles dans BMS de 16 à 22 g / kg soit de 1,6 à 2,2 % de teneur en sels respectivement de Garack à Bouhajra (**Figures 1A et B**). En effet, l'eau du site de Bouhajra présente une teneur en sels 8 fois plus importante que celle estimée sur le site de Garack. Pour le sol, on parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g / L [13]. Le degré de salinité sur ces deux sites reste relativement acceptable pour la plus part des plantes glycophytes (végétaux qui poussent sur des milieux doux, c'est-à-dire non salés) [14]. Cependant, une augmentation de la salinité de l'eau de 0,04 à 0,3 g / L a permis une accumulation significative de 6 g / kg de

sels dans la biomasse de *Typha australis*. Ainsi, nous pouvons penser que l'élévation de la salinité de l'eau aurait un impact sur le fonctionnement physiologique de la plante *Typha australis*. Les données obtenues sur l'extraction de la teneur en proline n'ont pas montré des différences significatives entre les deux sites. Ceci peut être lié au fait que l'intensité de stress n'est pas si intense pour que ça se traduit par une augmentation significative de teneur en proline au niveau des plantes de Bouhajra. Cependant la tendance suivie par la salinité de l'eau et l'accumulation de sels au niveau de la biomasse se constate : une élévation de taux de proline sur les plantes de Bouhajra par rapport à celles de Garack. Les mesures directes de la salinité de l'eau et sur la biomasse permettent de détecter d'une manière précoce l'état de la plante pour sa transformation en charbon. Le rendement du soja en grains diminue de 50 % sous 0,6 g / L de NaCl [15]. De nombreuses études ont mis en évidence l'influence de la salinité du milieu sur le fonctionnement des plantes [16 - 18]. En outre, au niveau du site de récolte de Bouhajra, les valeurs moyennes de la salinité de l'eau ne varient pas entre les profondeurs de coupe (BP et BPP), de même pour la salinité au niveau de la biomasse des plantes récoltées (**Figures 1A et B**). Pour le site de Garack, la valeur moyenne de la salinité est de 0,03 et 0,04 g / L par m² et celle de la biomasse de 15 à 17 g / kg, respectivement pour la zone profonde (GP) et la zone peu profonde (GPP) (**Figures 1A et B**). Nous pouvons tout de même constater une légère supériorité de la salinité de l'eau à GPP par rapport à GP ce qui peut s'expliquer par une influence des activités anthropiques aux environs de GPP. Cette différence peut être expliquée également par la quantité d'eau beaucoup plus importante à GP où la profondeur peut dépasser -70 cm et où la turbidité de l'eau peut atténuer la salinité. On constate que malgré la variation de la salinité de l'eau constatée entre ces deux zones, nous n'avons noté aucune différence d'accumulation des sels au niveau de la matière sèche (BMS) de *Typha australis*.

3-2. Estimation de la biomasse et de son humidité relative

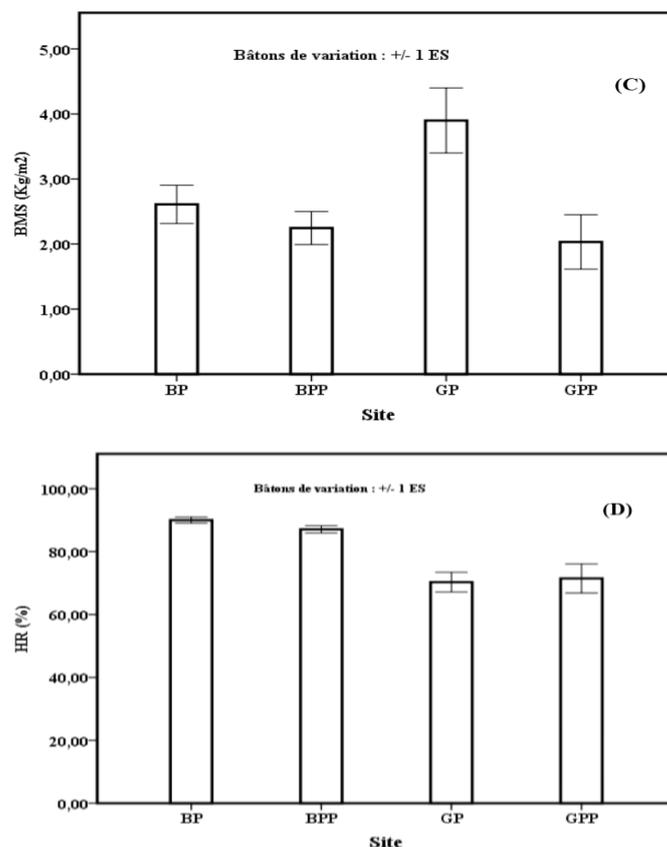


Figure 2 : Biomasse sèche (C), humidité relative de la matière fraîche (D) récoltée au niveau des carrés d'expérimentation de sites de récolte de Bouhajra et de Garack

Nous avons analysé les résultats de la biomasse sèche (BMS) produite qui est significativement (**Tableau 1**) plus élevée au niveau de GP. En effet, la quantité de BMS produite en GP représente presque le double de celui obtenu au niveau de GPP, BPP et de BP (Les valeurs moyennes variant environ de 2 à 4 kg / m², **Figure 2C**). La production en BMS pour nos deux sites est élevée. En effet, les observations sur le terrain de [20] ont montré une production de biomasse utile de 2 kg / m² / an. Ce rythme de production se révèle supérieures à la productivité de l'*Eucalyptus. sp* [19]. Les Eucalyptus sont des essences ligneuses de qualité pour la production de charbon de bois [20]. La forte production de BMS en GP peut s'expliquer par le fait que la plante typha se développe mieux dans des zones en eau profonde [19]. Le typha est souvent présent dans des eaux avec des profondeurs maximales de 1,4 m [19]. Quand le niveau de l'eau est important mais inférieur à 1,4 m ce qui est le cas pour GP, la croissance végétative de *Typha australis* est stimulée. En effet pendant notre campagne de récolte de biomasse fraîche, nous avons observé des plantes de *Typha australis* avec des tiges ayant un diamètre considérablement plus important à GP par rapport aux tiges de *Typhas australis* des autres zones. Cette performance semble être liée, non seulement à la profondeur de l'eau, mais aussi à sa stabilité (cas de GP). Par contre pour BP bien qu'il se situe sur une zone profonde la production en BMS est inférieure à celle estimée en GP.

Ceci peut être expliqué par le fait que le niveau d'eau n'était pas stable à Bouhajra : nous avons assisté à plusieurs phases de retraits et de montées des eaux durant notre expérimentation. Le résultat obtenu sur l'humidité relative (HR) des plantes récoltées, a permis de mettre en évidence une différence très significative entre les deux sites : Garack et Bouhajra (**Tableau 1**). HR moyenne est de 71 % à Garack et 88 % à Bouhajra mais reste constante au sein d'un même site (**Figure 2D**). Il faut noter que le site de Bouhajra se trouve dans un milieu où les températures sont modérées, avoisinant 26 °C en moyenne, et où l'humidité relative est assez forte pouvant dépasser 90 % pendant l'hivernage (mois de Juillet et Août) du fait de la proximité de l'océan et de la fréquence des rosées matinales [21]. En outre, nous travaillons sur une hélophyte (plante aquatique) qui présente par définition une humidité importante. La teneur en eau chez les végétaux est très variable pouvant varier de 8 % pour la paille sèche à plus de 50 % pour les plantes fraîchement coupées [22]. La teneur en eau est le principal facteur qui permet de déterminer le contenu énergétique net de BMS. Plus il y a d'eau, moins la biomasse produira d'énergie lors de sa combustion [22]. En effet, ces résultats sont importants pour le choix des sites de récolte de la biomasse en vue d'optimiser la production en BMS pour la production du charbon de *Typha australis*.

3-3. Impact de la salinité sur la qualité du charbon produit

Tableau 2 : Comparaison de certains paramètres de qualité du charbon entre les deux sites

Paramètres	Garack	Bouhajra
Humidité sur brute (%)	6,51	7,47
Taux de cendre (%)	38,23	40,11
PCIh (kJ / kg)	15 660	11 000
Facilité d'allumage (secondes)	11	180 (et s'éteint après)

Nos résultats ont montré que le taux d'humidité sur brute est plus élevé sur le charbon de Bouhajra que sur le charbon de Garack. Cependant, ces valeurs restent normales quand on le compare avec les données obtenues par [19] sur le charbon de *Typha australis*. En effet, pour la spécification de la qualité du charbon de bois, la limite de teneur en humidité est de l'ordre de 5 à 15 % [20]. Le taux d'humidité influe d'une manière importante sur l'intégrité du charbon. Le charbon de bois à forte teneur en humidité de 10 % ou plus, montre une tendance à se morceler et à former de la poussière [20]. En outre, l'humidité altère la qualité du charbon de bois, faisant baisser son pouvoir calorifique. La valeur moyenne de valeur calorifique (PCIh) varie de

11.000 à 15.660 kJ / kg, respectivement sur le charbon de Bouhajra et de Garack (**Tableau 2**). Le charbon produit à Garack a montré un pouvoir calorifique beaucoup plus importante que celui de Bouhajra. En outre le résultat que nous avons trouvé à Garack est similaire à celui obtenus par [19] sur le charbon de typha 17.000 kJ / kg. Cependant, ces valeurs sont inférieures à celle estimée sur le charbon de bois 29.000 kJ / kg [19]. Cette différence de PCIh est en relation avec la teneur en cendres (**Tableau 2**). Nos résultats ont montré une variation de teneur en cendre de 2 % entre le charbon produit à Garack et celui produit à Bouhajra. Le taux de cendre que nous avons trouvé est plus élevé que celui trouvé par [19] sur le typha 30 % contre 5 % pour le charbon de bois. Ce qui explique le typha utilisé par [19] est plus énergétique que les nôtres. Pendant cette expérimentation, nous avons constaté également que la facilité d'allumage et le temps d'ébullition spécifique de l'eau sont plus élevés sur le charbon produit à Bouhajra 32 mn que sur le charbon produit à Garack 24 mn. Le temps d'allumage pour le charbon produit à Garack est de 11 secondes contre 180 secondes pour le charbon produit à Bouhajra et qui s'éteint quelques temps après son allumage. Au paravent le projet avait soupçonné les conditions climatiques à Bouhajra (humidité forte de l'air) pour expliquer l'état du charbon (taches blanches et effritements). C'est en reproduisant le charbon provenant de la poudre de typha de Garack et de la poudre de typha provenant de Bouhajra dans les conditions de Garack qu'ils ont confirmé leur soupçon sur la présence de sels dans la biomasse (**Photo 1 et Photo 2**). Cependant la qualité du charbon produit à Bouhajra s'améliore quand on change de liant (gomme provenant des acacias au lieu d'utiliser l'argile comme liant). En effet la présence de l'argile augmenterait le taux de sels sur le charbon produit. Nous avons également constate qu'avec 3 % de sels dans la biomasse, le charbon produit sera de mauvaise qualité quelque soit le liant utilisé.



Photo 1 : Taches blanches au cours du séchage témoignant de la présence de sels



Photo 2 : Effritements en fin de séchage témoignant de la présence de sels

4. Conclusion et perspectives

Ce travail nous a permis de mettre en évidence que la salinité de l'eau des sites et l'accumulation des sels dans la biomasse de *Typha australis* évoluent dans le même sens. Une augmentation significative de la salinité de l'eau se manifeste au niveau de la plante de *Typhas australis* par une augmentation significative de sels dans la biomasse. Nous avons constaté que la performance de *Typha australis* pour une production élevée en biomasse nécessite un niveau d'eau profonde et que ce niveau d'eau doit rester constant. Nous avons également observé que les conditions climatiques locales (température, humidité relative de l'air) influencent de manière significative l'humidité relative (HR) de la biomasse de *Typha australis*. Tous ces paramètres ont un impact sur le pouvoir calorifique, humidité sur brute, le taux de cendre et le temps d'allumage du charbon produit. Ces résultats nous permettent de faire des meilleurs choix rapides et fiables pour choisir un site de récolte de BMS qui répond aux exigences pour produire un charbon de *Typha australis*

de qualité et en quantité. La suite à donner à ce travail en terme de perspectives est de poursuivre ces études avec des objectifs spécifiques dans deux orientations :

- Chercher à lier par une corrélation positive et effective le niveau de la salinité de l'eau et celle de la biomasse, afin d'assurer un choix d'un site de coupe par mesure directe de la salinité de l'eau sur le terrain ;
- Mener des expériences directes sur la qualité du charbon fabriqué en fonction de la teneur en sels de la biomasse sèche en alliant les tests de qualité du charbon obtenu en fonction de plusieurs biomasses sèches ayant plusieurs niveaux de NaCl et d'autres sels à déterminer.

Remerciements

Nous remercions l'Union Européenne (UE) et Agence de Promotion de l'Accès Universel aux Services (APAUS) pour le financement de ce projet. Nous remercions également le personnel du Parc National de Diawling pour les accueils et aides lors de nos séjours au PND, les gens de Garack et le personnel de l'Equipe Typha de GRET et de l'ISET.

Références

- [1] - J. G. CHARNEY, "*Dynamics of deserts and drought in Sahel*", Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 101 (1975) 193 - 202.
- [2] - L. LEBARBE and T. LEBEL, "*Rainfall climatology during the years 1950 - 1990*", Journal of Hydrology, (1997) 43 - 73.
- [3] - M. HULME, "*Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973 - 1998*". Global Environmental Change, 11 (2001) 19 - 29.
- [4] - T. LEBEL, A. DIEDHIOU and H. LAURENT, "*Seasonal cycle and interannual variability of the Sahelian rainfall at hydrological scales*", Journal of Geophysical Research, 108 (D8) (2003) 1401 - 1411 (and 8389).
- [5] - P. HIERNAUX, L. MOUGIN, E. DIARRA, N. SOUMAGUEL, F. LAVENU, Y. Tracol, M. Diawara, "*Sahelian rangeland response to changes in rainfall over two decades in the Gourma region, Mali*", Journal of Hydrology, 375 (2009) 114 - 127.
- [6] - Y. FICATIER, M. NIASSE, "*Volet social et environnemental du barrage de Manantali*", Agence Française de Développement ISSN, (2008) 1958 - 590X.
- [7] - SOE, "*Notes techniques de suivi-évaluation de l'état de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal*", OMVS / Observatoire de l'environnement, Dakar, Sénégal, (2005).
- [8] - AGRER-SERADE-SETICO, "*Etude pour la restauration du réseau hydraulique du bassin du fleuve Sénégal*", Rapport Phase 1, Vol. 1 et 2, OMVS / SOGED, (2003).
- [9] - M. R. CARTER, "*Soil Sampling and Methods of Analysis*". CRC Press, (1993) 823 pp.
- [10] - L. S. BATES, R. P. WALDREN, I. D. TEARE, "*Rapid determination of free proline for water-stress studies*", Plant and soil, 39 (1) (1973) 205 - 207.
- [11] - M. ASHRAF and M. R. FOOLAD, "*Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance*", Environmental and Experimental Botany, 59 (2) (2007) 206 - 216.
- [12] - L. SZABADOS and A. SAVOURÉ, "*Proline : a multifunctional amino acid*", Trends in Plant Science, 15 (2) (2010) 89 - 97.
- [13] - M. ROBERT, "*Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement*", Ed. MASSON Paris, (1996) 96 P.

- [14] - R. HELLER, R. ESNAULTET, C. LANCE, "*Physiologie Végétale, Nutrition*", 6^{ème} édition DUNOD, France, (1998) 42 p.
- [15] - A. LEVIGNERON, F. LOPEZ, G. VANSUYT, P. BERTHOMIEU, P. FOURCROY and F. CASSE-DELBART, "*Les plantes face au stress salin*", Cahiers Agricultures, 4 (4) (1995) 263 - 273.
- [16] - H. GREENWAY et R. MUNNS, "Mechanism of Salt tolerance in non halophytes", *Annual Review of Plant Physiology*, Vol. 31, (1980) 149 - 190 p.
- [17] - Y. YOSHIBA, T. KIYOSUE, T. KATAGIRI, T. UEDA H, MIZOGUCHI, K. YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. WADA, Y. HARADA, K. SHINOZAKI, "Correlation between the induction of a gene for Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase and the accumulation of proline in *Arabidopsis thaliana* under osmotic stress", *Plant J.*, 7 (1995) 751 - 760.
- [18] - F. HAOUALA, H. FERJANI, et S. BEN EL HADJ, "Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent", *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11 (3) (2007) 235 - 244.
- [19] - PREDAS, "Rapport sur le charbon du *Typha australis*, une vraie alternative durable au bois énergie", (2003).
- [20] - FAO, "Techniques simples de carbonisation", Étude Fao : Forêts 41. M-37- ISBN 92-5-201328-8, (1984).
- [21] - J. Y. LOYER, "Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal", ORSTOM, collection études et thèses, (1989) 137 p.
- [22] - <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/11-033.htm>, Site consulté le 12 mars 2016.