

# *Activation Physique D'une Roche Carbonnée : Essais De Production À Partir De La Tourbe*

RAZAKAMAMPIANINA Valisoa F. <sup>1</sup>, RASOANAIVO Jean Luc <sup>2</sup>, RAVONINJATOVO Achille O. <sup>3</sup>,  
ANDRIANAIVO Lala <sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Chercheurs, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

<sup>2,3</sup>Chercheurs Enseignants, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Antananarivo

[razakamampianinavalisoa@gmail.com](mailto:razakamampianinavalisoa@gmail.com)



**Résumé** – Au regard de l'abondance des ressources et la simplicité relative de la technologie requise, la visée de cette étude est la production de charbon actif à partir de l'activation physique de la tourbe en recherchant les conditions optimales. Venant s'ajouter à ses propriétés adsorbants à l'état naturel, l'activation de la tourbe tend à développer d'autant plus sa surface spécifique et son volume poreux. Les expériences et les essais effectués au Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) ont permis de déterminer les principales caractéristiques du précurseur et du produit auxquelles dépendent sa performance. Une fois le procédé continu de carbonisation – activation achevé, une caractérisation expérimentale du charbon actif obtenu permet d'établir une valeur estimative de la surface spécifique du produit dans le but de définir sa performance

**Mots-clés** – tourbe – activation physique – caractérisation expérimentale – charbon actif

**Abstract** – Considering the abundance of resources and the relative simplicity of the production technology required, the aim of this research is to produce activated carbon from peat undergoing the physical activation method while seeking for the optimal conditions for this said production. Known as a natural adsorbent, the activation of peat intends to increase its surface area and its pore volume. Test and laboratory experiments carried in National Centre for Industrial and Technological Research (CNRIT) allowed to ascertain the main characteristics of the precursor and the product which are considered as key elements of the activated carbon's performance. Following the continuous carbonization-activation method, the quality of the product is appreciated through an experimental characterization of the activated carbon especially relative to the estimation of its specific surface area.

**Keywords** – peat – physical activation – experimental characterization - activated carbon

## I. INTRODUCTION

Connaissant présentement un essor considérable relatif au traitement efficace des effluents, des rejets industriels ainsi qu'à la potabilisation des ressources en eau, le charbon actif est un produit dont le secteur industriel ne peut se passer étant donné son utilité dans une multitude de domaines d'application. Par respect aux normes instaurées et aux actions en faveur de la protection de l'environnement, il se démarque notamment par des avantages en termes d'efficacité en matière d'adsorption, de décoloration, de désodorisation, de facilité de mise en œuvre et de coût. [1][2][3]. Le coût de la tourbe en tant que matière première présente un avantage par rapport à ceux des autres roches carbonnées. Cette matière organique contient également des substances humiques possédant un fort pouvoir absorbant. Outre les conditions du milieu où l'adsorption se passera, la performance du charbon actif sera étroitement liée au choix du précurseur et au procédé d'activation. [4][5][6]

Pour le choix de la zone d'extraction de la tourbe, les échantillons utilisés ont été prélevés à 10 km de la capitale de Madagascar en suivant la RN3, dans la commune de Sabotsy Namehana, Partie intégrante du district d'Antananarivo Avaradrano, Région d'Analamanga [7]. Ceci s'explique par plusieurs facteurs : par soucis de proximité, de facilité d'accès mais aussi au regard de la valeur estimative des réserves. Les épaisseurs moyennes des couches de tourbes dans la zone d'étude s'inscrivent dans le

périmètre du marais Laniera s'élèvent à un mètre. Avec une superficie totale des tourbières au sein de la commune avoisinant une centaine d'hectares ce qui nous renvoie à près de 450.000 tonnes de réserves estimées. [8][9][10]

## II. MATERIELS ET MÉTHODES

### 2.1. Matériels et matières premières

La concrétisation des essais de caractérisation et d'expérimentation implique l'utilisation des matériels et équipements listés ci-dessous selon les travaux de laboratoire effectués.

- Les matériels servant à la caractérisation physico-chimique du précurseur et du produit : le broyeur, les creusets, l'étuve, le four à moufle, le dessicateur et la balance de précision
- Les matériels afférents aux essais de carbonisation – activation : le réacteur d'activation constitué par le fourneau et l'emboîtement de la colonne de distillation et du creuset, le ventilateur, le thermomètre numérique à thermocouple type K ainsi que la balance électronique
- Les matériels correspondants à la caractérisation expérimentale du produit comprennent respectivement : les doseurs, la balance électronique, le noir de carbone, la solution à traiter qui est dans notre cas le résidu d'un distillateur d'alcool lors d'une rectification.
- La matière première principalement utilisée est ici la tourbe sous plusieurs formes selon les étapes de l'expérimentation.

### 2.2. Caractérisation physico-chimique du précurseur et du produit

La détermination des caractères physico-chimiques de la tourbe renvoie à la détermination successive des paramètres suivants : le taux d'humidité, le taux de matières volatiles, la teneur en cendres, la teneur en carbone fixe et la densité.

Les mêmes paramètres seront revus pour la détermination des caractères physico-chimiques du produit.

#### 2.2.1. L'humidité ( $T_H$ )

Le taux d'humidité d'un combustible solide représente sa teneur en eau par rapport à sa masse humide.

Concernant le principe de la mesure, selon la norme européenne EN13774, il est obtenu à partir de la perte en poids d'une prise de l'échantillon après chauffage dans l'étuve à 105°C en 24 heures de temps. Le taux d'humidité est alors obtenu à partir de la formule (1) ci-contre

$$T_H = \frac{M_{humide} - M_{sèche}}{M_{humide}} \times 100 \quad (1)$$

$T_H$  : taux d'humidité en (%)

$M_{humide}$  : masse initiale de l'échantillon

$M_{sèche}$  : Masse de la matière sèche après son passage dans l'étuve

#### 2.2.2. Taux de la matière volatile (MOV)

La matière volatile du combustible est la matière qui s'échappe sous forme de gaz pendant sa combustion. Le taux de la matière volatile cautionne par conséquent l'inflammabilité de la matière combustible.

Suivant la norme française NF1985, le même échantillon utilisé pour trouver le taux d'humidité est chauffé dans un four à moufle à une température allant jusqu'à 550°C. Sa détermination se réfère à la perte de masse pendant ce chauffage, exprimée par la formule (2):

$$MOV = \frac{M_{105} - M_{550}}{M_{sèche}} \times 100 \quad (2)$$

MOV : taux de matière volatiles (en %)

$M_{105}$  : masse obtenue après chauffage à 105°C

$M_{105}$  : masse obtenue après chauffage à 550°C

$M_{sèche} = M_{105}$

### 2.2.3. La teneur en cendre Tc

La teneur en cendres est le résidu qui reste quand la matière carbonée est brûlée représente la qualité de matière minérale contenue dans le combustible. En accord avec la norme Européenne EN14775, environ 1 g de l'échantillon doit être mis dans un creuset couvert et chauffé dans le four à moufle de la température progressive qui va se stabiliser à 850°C pendant 15 minutes. La formule (3) permet de calculer le taux de cendres :

$$Tc = \frac{M_{850}}{M_{sèche}} \times 100 \quad (3)$$

Avec Tc : taux de cendre (en %)

$M_{850}$  : masse obtenue après chauffage à 850°C

$M_{sèche} = M_{105}$

### 2.2.4. La teneur en carbone fixe (TCF)

Elle correspond à la quantité de carbone restante après l'élimination des MOV, des cendres et de l'humidité.

La teneur en carbone fixe est obtenue en soustrayant les taux d'humidité, de matières volatiles et de cendres contenu dans la biomasse de 100%, d'où l'expression (4) suivante :

$$TCF = 100 - (H + Tc + MOV) \quad (4)$$

Avec TCF : teneur en carbone fixe exprimée en (%)

H: teneur en humidité (%)

Tc: teneur en cendres (%)

MOV: teneur en matières organiques volatiles (%)

### 2.2.5. La densité

La détermination de la densité du charbon actif se fera à partir du pesage de trois échantillons de 1 cm x 1 cm x 1 cm, soit des échantillons de volume  $V = 1 \text{ cm}^3$ .

La valeur de la densité sera alors tirée à partir du ratio de la moyenne de la masse des trois échantillons sur le volume V.

## 2.3. Essais de carbonisation – activation

Des étapes de prétraitements physiques s'imposent avant la carbonisation proprement dite de la matière première, notamment son triage, son séchage, son broyage et son pesage.

### 2.3.1. Manipulation du réacteur

Le précurseur destiné à être carbonisé et activé est versé dans le creuset qui va s'emboîter hermétiquement avec la colonne de distillation. L'ensemble est ensuite posé dans le fourneau préalablement chauffé par la combustion du charbon de bois accélérée ou non par le ventilateur électrique. Une sonde à thermocouple de type K, insérée dans le creuset, permet de contrôler et de suivre l'évolution de la température du produit.

Les produits condensables seront récupérés à la partie supérieure de la colonne de distillation, tandis que le produit carbonisé sera déchargé du creuset après refroidissement de ce dernier.



Fig. 1. Pesage du précurseur



Fig. 2. Vue du réacteur au cours de l'essai



Fig. 3. Allumage du feu

### 2.3.2. Conditions opératoires

- Poids initial de substrat : 10 séries d'essai de 750g
- Qualité uniforme du combustible
- Prise de l'évolution de température suivant un intervalle de cinq minutes

Il est à préciser que la moitié des dix essais a été réalisé avec l'utilisation d'un ventilateur afin de permettre l'accélération du transfert de chaleur par le phénomène de convection forcée en assurant l'approvisionnement en air du foyer.

### 2.3.3. Principes de la carbonisation – activation

La carbonisation est une technique de pré-conditionnement qui permet la concentration sous forme de carbone fixe de l'énergie contenue dans la matière organique. [11][12]. Elle s'effectue dans une atmosphère inerte à des températures comprises entre 400°C et 700°C en fonction de la matière première. Il fournit des matériaux ayant une structure poreuse limitée (surface spécifique comprise entre 10 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> et 100 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>), qui sera ensuite développée afin de rendre leur pouvoir d'adsorption plus élevé durant le processus d'activation.

Si la phase de carbonisation est considérée complète à 600°C, la progression de la température est poursuivie pour dépasser les 800°C et la maintenons plus ou moins constante pour une durée déterminée.

La méthode utilisée combine les deux étapes habituelles de carbonisation et d'activation retrouvées dans les études bibliographiques en une seule pyrolyse continue en surveillant la progression de la température au fur et à mesure en fonction du temps, aboutissant à un gain de temps et de combustible considérable.

Ayant eu recours à l'activation physique, la teneur en eau résiduelle dans la tourbe va fournir la vapeur d'eau, obtenue à mesure que la température poursuit sa montée, utilisée directement comme agent oxydant lors de la phase d'activation.

Le pourcentage de gazéification du carbone (burn-off) connu comme "degré d'activation" ou "conversion" est mesuré par le poids de la matière avant et après le traitement. Ceci dit, le développement de la porosité dans le matériau carbonisé obtenu dans des réacteurs d'activation, est directement lié au temps de traitement [12]

Le « burn-off » ou degré/taux d'activation calculé à partir de (5) se traduit par la perte de masse mesurée avant et après la carbonisation-activation. Ce taux augmente avec la durée des essais. [12]

$$\text{burn - off (\%)} = \frac{\text{masse}_{\text{initiale}} - \text{masse}_{\text{finale}}}{\text{masse}_{\text{initiale}}} \times 100 \quad (5)$$

Les essais de carbonisation-activation effectués ont donné le charbon actif obtenu (CAO) dont la performance sera testée dans le sous-paragraphe suivant.

## 2.4. Caractérisation expérimentale du produit obtenu

La surface spécifique définit le pouvoir adsorbant d'un matériau poreux. Une méthode expérimentale basée sur la comparaison visuelle des résultats obtenus a permis de caractériser les charbons actifs. Le noir de carbone, avec une surface spécifique avoisinant les 150 m<sup>2</sup>/g, a été choisi comme référence étant donné la facilité de s'en procurer.

Préalablement conditionné sous forme de Charbon Actif en Poudre (CAP) et de Charbon Actif en Grain (CAG), le mode opératoire de cette caractérisation va se dérouler comme suit :

L'essai consiste à élaborer un test de comparaison visuel entre deux échantillons EA et EB.

EA : Echantillon sera traité avec le charbon actif obtenu (CAO),

Il convient de distinguer: EA1 traité avec du CAP, EA2 traité avec du CAG.

EB : Echantillon sera traité avec du noir de carbone (NC)

- Pesage de 1 g de CAO et 1 g de NC
- Imprégnation du CAO et du NC dans la solution à traiter ; la quantité est égale à 100 ml de chaque
- Agitation du mélange
- Maintien du mélange au repos avec un temps de séjour de 24h
- Observation de l'évolution des échantillons à comparer
- Rajout de 1g de noir de carbone dans EB si la limpidité de celui-ci se diffère de celle de EA.
- Répétition de la même étape jusqu'à ce que EB et EA ait la même limpidité.

Afin de mettre en exergue le pouvoir désodorisant du CAO, 100 ml de rhum artisanal, relativement fort en odeur, a été dosé. On a versé au fur et à mesure des doses de 1 g de CAP jusqu'à ce que le dit odeur soit neutralisé.

## III. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont récapitulés par les deux tableaux : Tab 1 et Tab 2 ainsi que les deux figures : Fig 4 et Fig 8.

### 3.1. Résultats portant sur les caractérisations physico-chimiques respectivement du précurseur et du produit

Tableau 1 : Evolution des caractères physico-chimiques de la matière première avant et après les essais de carbonisation – activation

Matière	Caractères physico-chimiques			
	Humidité (%)	Taux de Matières Volatiles (%)	Teneur en cendres (%)	Teneur en carbone Fixe (%)
Précurseur	6,15	27,56	37,98	33,17
Produit	3,98	21,37	11,21	42,09

Pour le précurseur : à 33.17%, la teneur en carbone fixe démontre la possibilité de sa valorisation.

Pour le produit : à 3,98%, la teneur en eau relativement basse favorise l'adsorption.

inférieure à 12%, la teneur en cendre indique que l'activité du charbon n'est pas réduite, ceci renvoie à considérer une éventuelle réactivation du charbon.

### 3.2. Résultats des essais d'activation

Tableau 2 : Récapitulation des paramètres relatifs aux essais de carbonisation – activation

Rubriques	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	Burn-off	Temperature optimale Tmax (°C)	Masse de combustible (g)	Durée (T0 – Tmax)	Souffleur
Essai N°01	750	353	52.9	957,6	2 250	2 H	OUI
Essai N°02	750	307	59.1	948,1	2 750	3 H 50	NON
Essai N°03	750	363	51.6	943,5	2 250	1 H 15	OUI
Essai N°04	750	310	58.7	1001,9	2 000	2 H 30	NON
Essai N°05	750	274	63.5	1013,1	2 000	3 H 25	NON
Essai N°06	750	387	48.4	954,5	2 000	1 H 20	OUI
Essai N°07	750	364	51.5	945,1	2 000	3 H	NON
Essai N°08	750	378	49.6	963	1 750	2 H 55	NON
Essai N°09	750	388	48.3	985,8	1 900	1 H	OUI
Essai N°10	750	398	46.9	954,2	1 500	1 H	OUI

Ci-contre, Fig. 4 regroupe les courbes de progression thermique pour les essais 01. 03. 06. 09. 10 ayant eu recours au souffleur et Fig. 5 illustre les essais 02, 04, 05, 07, 08 effectués sans souffleur.

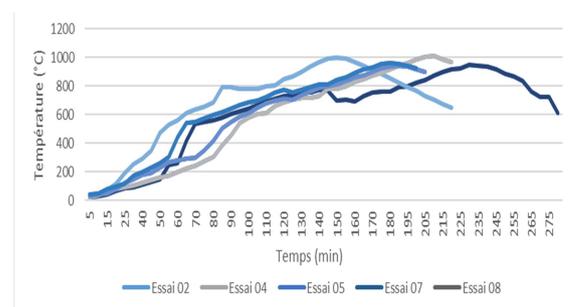
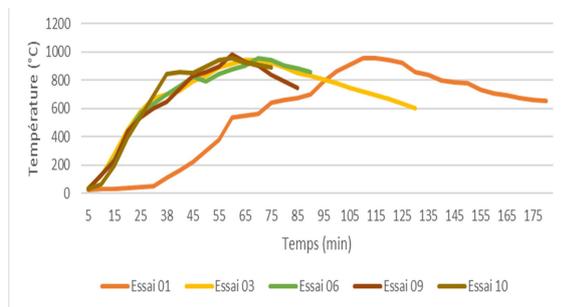


Fig. 4. Courbes de progression thermique des essais avec souffleur

Fig. 5. Courbes de progression thermique des essais sans souffleur

- Les produits obtenus lors des essais sans souffleur ont une masse généralement inférieure, un volume plus important de fraction condensable et une consistance plus friable. Fig. 6 atteste la différence notable entre la quantité de jus pyrolytique recueillie lors d'un essai avec souffleur (essai 10) à gauche et sans souffleur (essai 05) à droite.



Fig. 6. Fractions condensables recueillies : essai 05 à gauche et essai 10 à droite

- La vitesse de progression de la température est significativement plus importante lorsque le souffleur est utilisé, les essais sans souffleur bénéficient de ce fait d'un temps de résidence considérable.
- Les gouttes de jus pyrolytique s'identifiant aux fractions condensables apparaissent aux alentours de 100°C
- Entre 300°C et 500°C, une progression particulièrement rapide de la température se démarque doublée de l'apparition de résidus noirs qui s'apparente à du goudron.
- En vue de l'amélioration de la valeur économique en matière de ratio production/combustible, la quantité de combustible a été optimisée tout le long du déroulement des essais
- La moyenne du ratio de rendement (masse du précurseur / masse du produit) s'élève à 0.47% et celle du burn-off à 53.05% pour les dix essais.

### 3.3. Résultats relatifs à la caractérisation expérimentale du produit

Pour un même volume de résidus à traiter, le dosage de CAO et de NC pour l'obtention d'une même limpidité pour EA et EB révèle que le pouvoir adsorbant de 1g de CAO correspond à celui de 6 g de noir de carbone. Fig. 7 montre de gauche à droite la différence de limpidité entre le résidu et les solutions traitées EA1 et EB.



Fig. 7. Comparaison de la limpidité de EA1 et EB par rapport à l'échantillon initial

A l'issue de la comparaison de EA1 et EA2 sur la Fig. 8 : le CAP est plus adsorbant que le CAG, ce qui s'explique par le fait que plus la taille du charbon actif est fine, plus sa surface spécifique est importante plus son pouvoir adsorbant l'est également.



Fig. 8. Limpidité finale de EA1 et EA2, traités respectivement avec 1g de CAP et 1g de CAG

La connaissance du pouvoir adsorbant du noir de carbone de surface spécifique 150 à 180 m<sup>2</sup>/g permet d'attribuer une valeur estimative de l'ordre de 900 à 1000 m<sup>2</sup>/g pour le CA obtenu à partir de la tourbe.

- Concernant l'essai effectué avec le rhum artisanal, il a fallu verser 2g de CAP dans l'échantillon de 100 ml afin de neutraliser son odeur caractéristique.

### 3.4. Discussion

L'étude bibliographique a permis de remarquer plusieurs choix de précurseur de nature végétal [13][14][15][16]. Les caractères physico-chimiques de notre précurseur et son rendement sont nettement meilleurs, illustré par sa teneur en eau relativement moindre favorisant une meilleure adsorption [14]. Néanmoins, la tourbe étant une roche carbonnée, elle figure parmi les ressources non renouvelables. Son extraction est liée à un risque de dégradation de l'environnement si elle n'est pas accompagnée de mesures [6][14][16][17].

Au regard de la performance, le produit se conforme à un certain degré d'exigence. Comparé au noir de carbone, une équivalence de capacité d'adsorption entre 6g de ce dernier et 1g de CA est mise en évidence, soit six fois. Cette équivalence est supérieure au pouvoir attribué au produit du charbon actif obtenu à partir d'endocarpe de noix de coco (10g - 2g soit cinq fois) [14]. Atteignant les 1000 m<sup>2</sup>/g en matière de surface spécifique, en considérant le rapport précédemment établi, la valeur dépasse de quelques dizaines de mètres carrés la surface spécifique de charbons activés chimiquement à 25%, 600°C à partir du bois d'eucalyptus (969 m<sup>2</sup>/g) et de coque d'arachide (900 m<sup>2</sup>/g).[18]

Par rapport aux techniques d'activation rencontrée dans la littérature, un gain de temps et de combustible est observé. Ces dernières s'effectuent en deux temps : en premier lieu la carbonisation, suivie d'un refroidissement complet puis en second lieu l'activation. Les essais que nous avons effectués combinent ces deux étapes de façon continue. L'humidité de la tourbe va servir d'agent d'activation au sein du distillateur à voie sèche lorsque la température aura atteint le palier de celle correspondant à l'activation physique.

Pour une optimisation du coût et des techniques de production, plusieurs aspects restent à être étudiés Il convient de signaler que les études comparatives entre la méthode d'activation physique et celle d'activation chimique ont montré que cette dernière est plus intéressante en termes de coût du fait qu'elle exige une température nettement inférieure lors de la pyrolyse [19]. Selon l'utilisation du produit, des critères de performances requièrent l'utilisation de la méthode d'activation physique sachant que cette dernière offre une meilleure diffusion et un pouvoir d'adsorption supérieure [3][17][19].

## IV. CONCLUSION

A l'issue de ce travail, force est d'admettre que les technologies de fabrication de charbons actifs constituent une des solutions de valorisation des roches carbonnées, plus précisément de la tourbe. Les résultats tirés des études et des expérimentations effectuées s'avèrent intéressants, à savoir les points listés antérieurement.

La teneur en carbone fixe à 33.17% : un indicateur significatif de la possibilité de valorisation la tourbe.

La teneur en eau à 3,98%, du produit, favorise d'autant plus l'adsorption.

La vitesse de progression de la température est significativement plus importante lorsque le souffleur est utilisé, ainsi les essais sans souffleur bénéficient d'un temps de résidence considérable.

Les produits obtenus lors des essais sans souffleur ont une masse généralement inférieure, un volume plus important de fractions condensables : le jus pyrolytique à partir de 100°C et les résidus de goudron entre 300°C et 500°C.

Le pouvoir décolorant et le pouvoir désodorisant du produit ont été démontrés, avec une surface spécifique avoisinant les 1000m<sup>2</sup>/g.

Le charbon actif en poudre CAP est plus adsorbant que le charbon actif en grain CAG, ce qui s'explique par le fait que plus la taille du charbon actif est fine, plus sa surface spécifique est importante et plus son pouvoir adsorbant l'est également.

En perspective, il faudra penser à la régénération et au recyclage du CAG utilisé industriellement.

La transformation du jus pyrolytique en carburant commercialisable est également sollicitée.

## RÉFÉRENCES

- [1] PNUE : Assemblée des Nations Unies pour l'environnement du Programme des Nations Unies pour l'environnement, Pour l'humanité et pour la planète : stratégie du Programme des Nations Unies pour l'environnement pour 2022–2025 visant à remédier aux problèmes des changements climatiques, de la dégradation de la nature et de la pollution, UNEP/EA.5/3/Rev.1, Février 2021 [Online] Available : <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35875/K2100502-f.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [2] J. Lu, "Technical Synthesis: A comparative study on activated carbon," ENGREF Centre de Montpellier OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU – SNIDE. 2005
- [3] UNICEF, Analyse budgétaire de l'eau, l'assainissement et l'hygiène à Madagascar, Note d'information N°2020.05, 2020 [Online] Available: <https://www.unicef.org/madagascar/media/6536/file/Analyse%20bug%C3%A9taire%20du%20WASH%202015%20-%202020%20-%20Version%20courte.pdf>
- [4] D. Bamba, B. Dongui, A. Trokourey, G. Zoro, G. Athéba, D. Robert, J.V Wéber, "Études comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivies d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron", *Journal de la Société uest-africaine de Chimie*, vol. 028, no. 41–52, 2009.
- [5] L. Khezami, A. Chetoui, B. Taouk, and R. Capart, "Production and characterisation of activated carbon from wood components in powder: Cellulose, lignin, xylan", *Powder Technoogy.*, vol. 15, no. 1–3; 29, pp. 48–56, 2005.
- [6] N. Kania, "Utilisations de charbons actifs dans des procédés d'adsorption de Composés Organiques Volatils et des procédés de catalyse dans l'eau," Université d'Artois, Faculté des Sciences Jean Perrin, Thèse de Doctorat, 2010.
- [7] M. A. Slasli, "Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux: Approches théorique et expérimentale," Université de Neuchâtel, Thèse de Doctorat, 2002.
- [8] Commune Rurale Sabotsy Namehana, "Monographie," District Antananarivo Avaradrano, Région Analamanga, 2017.
- [9] L. L. Raharivony and H. Randrianja, "Valorisation de la tourbe de la plaine d'Antananarivo," EESP, Mémoire MINES, 1987.
- [10] Commune Rurale Sabotsy Namehana, "Cartographie de la Commune," 2015 [Online] <https://sabotsy-namehana.com/wp-content/uploads/2015/04/Plan-Commune-Sabotsy-Namehana.jpg> (consulté le 06 Novembre 2021).
- [11] S. Rakotondramiary, "Conception d'un charbon actif à partir de la balle de riz : Essai d'adsorption du plomb," Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Mémoire de Master II 2015.
- [12] F. L. Bragh IroliI, "Production du bio-charbon activé à partir de résidus de bois à l'échelle pilote", Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Institut de Recherche sur les Forêts IRF, 12p, 2017.
- [13] M. A. Slasli, "Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux: Approches théorique et expérimentale," Université de Neuchâtel, Thèse de Doctorat, 2002.
- [14] LENNTECH, "Adsorption/Charbon actif.", copyright 1998-2021 [Online] <http://www.lenntech.com/français/adsorption.html>. (consulté le 27 Juillet 2021)
- [15] N. R. N. J. Rabarijaonaharison, "Conception du charbon actif à partir de la noix de coco : Essai d'adsorption du plomb," Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Mémoire de Master II, 2015.
- [16] S. D. B. Maazou, H. I. Hima, M. Malam Alma, I. Natatou, and Z. Adamou, "Elimination du chrome par du charbon actif élaboré et caractérisé à partir de la coque du noyau de Balanites Aegyptiaca", in *International Journal of Biological and Chemical Sciences.*, no. 11(6): 3050-3065, 2018
- [17] Z. Bahnes, "Activation des noyaux de jujube pour l'obtention d'un charbon actif," Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Département de Chimie, Faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique, Thèse de Doctorat, 165p, 2018.

- [18] M. Gueye, J. Blin, C. Brunshwig, M. De, and R. Expérimentale, "Etude de la synthèse des charbons actifs à partir de biomasses locales par activation chimique avec  $H_3PO_4$ .", Ouagadougou, 2011
- [19] Razakamampianina, "Etude de faisabilité technico-économique de la production de charbon actif à partir de la tourbe", Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Mémoire d'Ingéniorat, 2022