

UTILISATION POUR L'ÉNERGIE DOMESTIQUE DES PRODUITS DES TOURBIÈRES DES NIAYES AU SÉNÉGAL



Casamance (Sénégal) - bois fossile.

Photo J. Doat.

Tourbes et bois fossiles

par Claude BAILLY, ISRA Dakar (*)
Jacqueline DOAT, CTFT Nogent-sur-Marne (**)

SUMMARY

THE USE OF PEAT BOGS (PEAT AND FOSSIL WOOD) IN THE NIAYES (SENEGAL) FOR DOMESTIC ENERGY

The use of fossil sources of energy such as peat and fossil wood would enable Senegal to reduce the exploitation of natural ligneous formations. Deposits exist in the Niayes, where peat alone amounts to about 16 million tonnes, 11 million of which are easily workable.

In order to be used as fuel, the peat must be dried and moulded before being charred. For this purpose one may use the techniques of the Casamance wheel, the metal retort, or the metal oven ; but the pyrolysis method gives the best results.

Fossil wood can also be charred.

For peat, a pilot unit with 5 ovens should be developed in Senegal.

The use of fossil wood depends on the quantities available.

(*) ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.

(**) CTFT : Centre Technique Forestier tropical. Les essais techniques du CTFT ont été effectués par Patrick BEAUCHESNE, Françoise CUSSON et Mireille POITEL.

RESUMEN

APROVECHAMIENTO CON DESTINO A LA ENERGIA DOMESTICA DE LAS TURBERAS DE NIAYES EN SENEGAL (TURBAS Y MADERAS FOSILES)

La utilización de recursos de energía fósil, como, por ejemplo, la turba y las maderas fósiles, permitiría que Senegal pudiese reducir la explotación de las formaciones madereras naturales. Existen varios yacimientos en las Niayes. Por sí solas, las turbas alcanzan un volumen de unos 16 millones de toneladas, de las cuales 11 de fácil extracción.

Para poder utilizar la turba como combustible, ésta se debe secar o moldear antes de proceder a su carbonización. Para tal fin, se pueden utilizar las técnicas de la muela de la Casamance, la retorta metálica o un horno metálico, pero los mejores resultados consisten en aplicar el método de carbonización por pirólisis.

También se pueden carbonizar las maderas fósiles.

Para la turba, se ha construido una unidad experimental en Senegal, formada por cinco hornos.

El empleo de las maderas fósiles habrá de depender de las cantidades disponibles.

INTRODUCTION

Pays sahélien pour la plus grande part de son territoire, le Sénégal tire 60 % à 65 % de l'énergie qu'il consomme de la combustion de produits ligneux. Si cet état de fait n'était pas préoccupant, il y a 20 ans, aujourd'hui avec l'extension des communautés urbaines, et celle de Dakar en particulier, l'équilibre entre ville et campagne est détruit sur le plan de la consommation énergétique : les grandes métropoles régionales dévoreuses de charbon de bois exigent des approvisionnements réguliers, que seule l'exploitation intensive des formations naturelles peut leur garantir. Pour limiter l'impact considérable que représente ce prélèvement sur le capital forestier, plusieurs alternatives sont concevables ; elles passent par :

— l'extension du domaine boisé, solution longue, onéreuse et inadaptée à la couverture totale des besoins des populations,

— l'amélioration de la productivité des formations naturelles, opération très diffuse, efficace, mais peu spectaculaire,

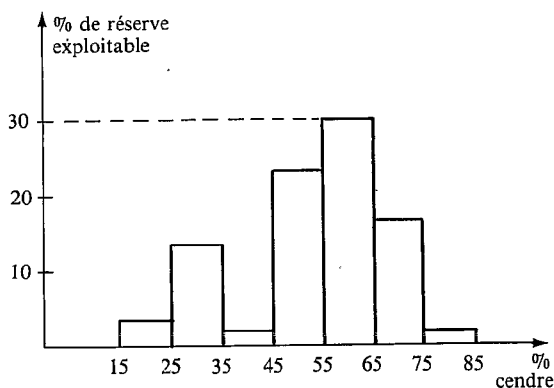
— la réduction des prélèvements domestiques grâce à l'amélioration des techniques de carbonisation (ou à leur suppression éventuelle) et à celle des caractéristiques calorifiques des foyers utilisés,

— l'utilisation de sources d'énergie fossile ou d'énergie nouvelle.

Si le Sénégal ne dispose pas de gisements de charbon, par contre, son sol renferme des lignites et des tourbes ; l'accessibilité du premier matériau n'est pas immédiate, mais le second peut être très facilement mobilisé de la surface. Pour cette dernière raison, un projet d'exploitation de la tourbe a vu le jour avec l'assistance de financements extérieurs (Canada, UNSO, Danemark, FED, FAC).

DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES GISEMENTS ET LE MATÉRIAU

Pourcentages de cendres



La tourbe est un produit qui résulte de la décomposition récente en milieu anaérobie de débris végétaux, sans intervention de pressions ni de températures élevées. Il est daté entre moins 20.000 ans et moins 30.000 ans et provient d'une végétation ligneuse luxuriante de type guinéen qui occupait des dépressions soumises à des fluctuations importantes de la nappe phréatique. Suivant que l'eau était en excès ou en déficit, la végétation périssait, les arbres s'abattaient, flottaient un certain temps, s'accumulant ainsi sous l'action de courants dans certaines zones et coulaient. Cela explique la répartition hétérogène de gros débris ligneux dans la masse de tourbe. Les premières estimations concernant ces bois avaient fait état de quantités élevées (5 à 10 % du volume total de la tourbe). Actuellement, les chiffres retenus sont nettement moins importants. Il n'en reste pas moins vrai que lors de l'exploitation des gisements de tourbes, ces bois, en état de fossilisation plus

ou moins avancé, peuvent constituer une gêne pour les engins, mais également, à l'inverse, une source de matière première à valoriser comme un sous-produit.

Parallèlement au mouvement de la nappe, des variations climatiques ont entraîné des dépôts de sable dans la tourbe donnant naissance à un combustible très irrégulier quant à sa teneur en cendres. Suivant les zones et les niveaux, elle varie de 15 à 85 %.

La tourbe sénégalaise se classe parmi les tourbes très cendreuses par rapport à celles d'Irlande ou de Scandinavie dont le taux de cendre n'excède pas 5 %. Ce point est donc un élément défavorable.

Les gisements ont une puissance variant entre 0,10 et 6,25 m et se trouvent sous 0,25 à 0,40 m de matériau de couverture. Le matériau *in situ* contient de 80 à 90 % d'eau : cette humidité tombe à 10-15 % après une semaine de séchage. Tant que la tourbe est envahie par la nappe phréatique, c'est un combustible stable, mais dès que la nappe aquifère descend, le matériau sèche, se dégage et peut s'enflammer spontanément au contact de l'oxygène de l'air. Par conséquent, avec l'abaissement général du niveau de l'eau dans les cuvettes, il est à craindre que tout ce matériau disparaisse par simple combustion.

LOCALISATION ET ÉVALUATION DE LA RESSOURCE

D'un point de vue climatique, l'intégralité de la zone est comprise entre les isohyètes 300 mm au Nord et 500 mm au Sud (période 1963-1975).

L'ensemble du gisement s'étale sur une bande très étroite le long du littoral de la grande côte entre Dakar et Saint Louis, à l'arrière des cordons dunaires. Il se présente sous forme discontinue à l'emplacement des « Niayes » (cuvettes de 2 à 30 ha de superficie) et peut être scindé en trois zones ; les zones nord (Lompoul-Rao) et sud (Kayar-M'Boro), de par la dispersion de la réserve, seront exploitées à des fins domestiques. La zone centrale (M'Boro-Lompoul) plus concentrée, sera exploitée en vue d'alimenter deux centrales thermiques.

Des études géologiques et minières ont permis d'apprécier l'importance de la réserve des Niayes. Le potentiel total en place a été estimé à 52 millions de m³, toutes qualités de tourbe confondues, sur lequel 31 millions seraient prévus pour l'utilisation industrielle et 21 millions pour l'utilisation domestique.

En individualisant, en fonction des teneurs en cendres, différentes qualités de tourbes, on obtient le tableau A ci-contre.

TABLEAU A

CARACTÉRISTIQUES DES ZONES DE TOURBIÈRES

	Zone Sud		Zone Nord	
	A	B	A	B
Surface exploitable (ha)	117	299	183	462
Volume exploitable (millions de m ³)	2,0	4,4	3,2	6,8
Masse mouillée (millions de tonnes)	2,0	4,5	3,2	7,0
Masse sèche (millions de tonnes)	0,6	1,3	0,9	2,1
Volume de tourbe découverte (millions de m ³)	1,3	3,3	2,0	5,0

A = tourbe ayant moins de 50 % de cendres.
B = tourbe ayant moins de 75 % de cendres.

UTILISATION DOMESTIQUE DE LA TOURBE

Compte tenu de la localisation des gisements, l'objectif de l'exploitation des zones Sud et Nord est de fournir, aux villes de Dakar et Saint Louis, un combustible pouvant se substituer au traditionnel charbon de bois, dans l'espoir de réduire, au moins temporairement, la pression de l'homme sur les formations forestières.

Actuellement, seules les tourbes de moins de 50 % de sable présentent un intérêt énergétique. En se reportant au diagramme des teneurs en cendres, on constate que de ce fait près de la moitié de la ressource ne pourrait

être utilisée. En conséquence, il faut envisager la possibilité de dessabler ce matériau pour doubler le volume de la ressource utilisable.

Combustion de la tourbe brute

Ce matériau gorgé d'eau lors de l'extraction doit subir un séchage pendant une période de 10 à 15 jours au terme de laquelle il se présente sous forme de mottes

plus ou moins friables, du fait de la plus ou moins grande teneur en sable. Si l'on envisage de faire des briquettes ou des agglomérés, il faut savoir que la présence de sable dans la tourbe fragilise la briquette, diminue la cohésion et produit, après combustion, des quantités de cendres ferrugineuses auxquelles les ménagères ne sont pas habituées. L'allumage de la tourbe est difficile et sa combustion dégage d'abondantes fumées très odorantes. Par contre, une fois amorcée, la réaction dure plus longtemps que celle du charbon de bois. En conséquence, et en tenant compte de ce que dans les villes les ménagères sont amenées à cuisiner à l'intérieur des locaux, il apparaît que l'utilisation à l'état brut de la tourbe n'est pas envisageable.

Plusieurs méthodes visant à éliminer les fumées et à améliorer l'allumage existent :

— l'une consiste à mélanger à la tourbe brute un matériau meilleur combustible tels que le charbon de bois, la coque d'arachide, le bois ;

— l'autre à la transformer par carbonisation.

Le premier procédé présentant un certain nombre de contraintes (mobilisation des ajouts, incorporation), le second semble préférable, malgré les réserves formulées ci-dessus pour une utilisation directe de la tourbe. Quelques tests de laboratoire ont été effectués au CTFT pour mieux situer la qualité de la tourbe. Des échantillons ont été expédiés à Nogent-sur-Marne pour y être analysés, les valeurs moyennes obtenues sur ces échantillons sont les suivantes :

— pouvoir calorifique supérieur (sur produit anhydre) : 4.200 kcal/kg ;

— teneur en cendres totales : 29,2 % ;

— teneur en silice : 16,4 % ;

— composition élémentaire : 37,7 % de carbone,
3,6 % d'hydrogène,
1,0 % d'azote,
28,5 % d'oxygène.

Les échantillons étudiés ont un pouvoir calorifique assez bas (inférieur à celui des bois classiques) dû à la forte teneur en matières minérales (notons pourtant que les tourbes reçues n'étaient pas parmi les plus mauvaises du gisement, puisque l'on a pu trouver jusqu'à 70 % de cendres). L'élimination du sable est donc nécessaire avant d'envisager tout emploi en combustion.

Carbonisation de la tourbe au Sénégal

Après extraction, la tourbe doit être conditionnée de façon à obtenir un matériau solide manipulable. L'option choisie est le façonnage en briquettes.

BRIQUETTAGE DE LA TOURBE

Deux procédés sont alors envisagés :

— **Procédé par extrusion** : on a utilisé, pour l'occasion, le matériel d'une briquetterie. La tourbe est au

préalable épanchée pour séchage, reprise en trémie et malaxée avec de l'eau pour l'amener à une plasticité compatible avec l'extrudeuse. Le produit fini se présente sous la forme d'un parallélépipède rectangle de $3 \times 5 \times 13$ cm de côté qui est mis à sécher à l'abri de l'insolation directe ; cette précaution est indispensable pour que la briquette ne s'effrite pas. La densité est comprise entre 1,6 et 1,7 et l'humidité résiduelle entre 12 et 13 %.

— **Procédé par moulage** : cette voie a l'avantage d'utiliser la tourbe brute d'extraction et supprime par conséquent le séchage qui nécessite des grandes surfaces et une manipulation fastidieuse. La briquette peut être démoulée trois quarts d'heure plus tard et mise à sécher à l'ombre : une réduction de près de 70 % s'effectue sur le volume et le produit final a une densité de l'ordre de 1.

CARBONISATION PROPREMENT DITE

Si la carbonisation du bois est une pratique courante au Sénégal, par contre, celle de la tourbe est une innovation. La première idée fut d'utiliser la technique locale.

a) Meule casamançaise

• **CONSTRUCTION** : la base de la meule est constituée par un tapis et un noyau de bois qui sert à l'amorçage de la réaction. Les briquettes sont ensuite disposées, une à une avec ordre selon approximativement le volume d'un cône en ménageant suivant l'axe vertical un orifice permettant l'allumage. La meule est, enfin, recouverte de paille et de sable. Une cheminée à chicanes est placée à la périphérie de la base pour évacuer les fumées et condenser les jus pyrolytiques (voir schéma a) ci-contre).

• PROCÉDURE :

— l'amorçage de la réaction a duré cinq heures,
— la déshydratation s'est déroulée pendant vingt heures,

— la carbonisation a duré vingt trois heures,
— le refroidissement, du fait de l'inertie thermique du matériau, est beaucoup plus lent que dans le cas du bois : il a pris près de 48 heures. Un défouissement trop hâtif risque de provoquer la combustion totale du charbon de tourbe.

RÉSULTATS : les résultats sont donnés au tableau B suivant. Cette méthode, au vu du rendement, est bonne ; elle présente tout de même des inconvénients :

— elle est longue : 100 heures,
— elle nécessite une quantité de paille et de sable non négligeable pour assurer l'étanchéité,
— la meule se déforme en cours de processus, provoquant des prises d'air et occasionnant des brisures importantes.

Pour pallier ce dernier inconvénient, le département FORESTO de l'ISRA a été amené à concevoir deux autres méthodes à enveloppe rigide.

Coupe d'une meule de tourbe. méthode Casamançaise

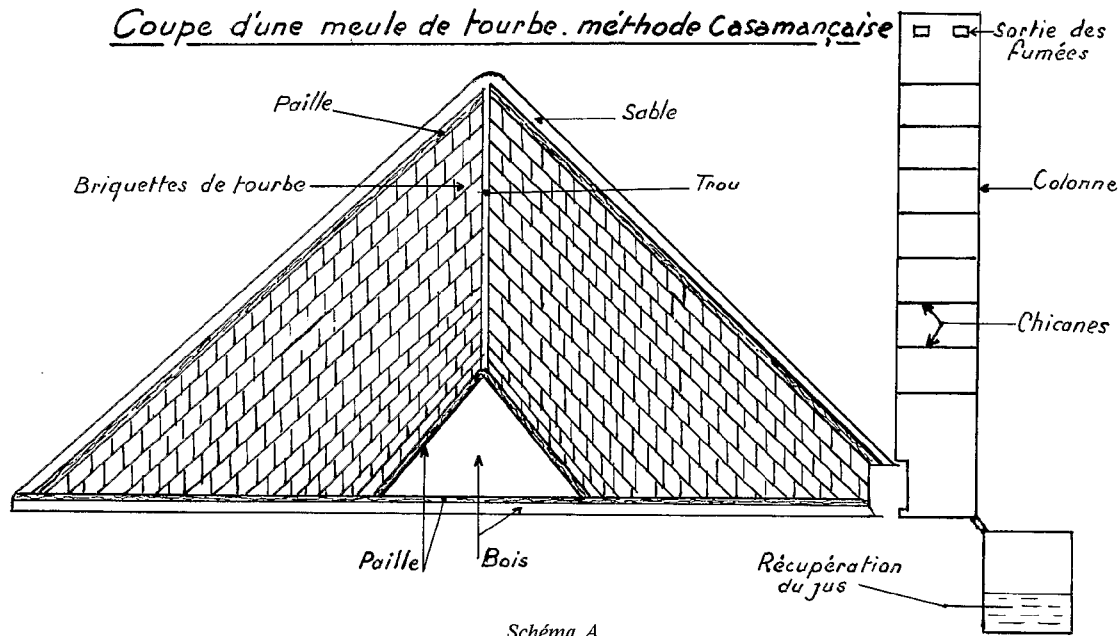


Schéma A.

TABLEAU B

RÉSULTATS OBTENUS EN MEULE CASAMANÇAISE,
CORNUE ET FOUR MÉTALLIQUES

Paramètre	Meule casa- mançaise	Cornue métalli- que	Four métalli- que
Durée de la réaction (heures)	100	48	60
Rendement pondéral (%) *	50	57	64
Rendement énergétique (%)	48	17	63
Qualité du produit	Bonne	Excellente	Bonne

* Matières minérales comprises.

b) Cornue métallique

• **DISPOSITIF** : il se compose de deux fûts métalliques de 200 litres reliés par un tuyau. Le premier est positionné horizontalement sur un berceau et constitue le four proprement dit. Le second, installé verticalement, sert à évacuer les fumées et à condenser les vapeurs pyroligneuses.

Le four est rempli de briquettes puis fermé par un couvercle ; l'énergie nécessaire à la carbonisation est fournie par la combustion de bois disposé sous le four entre les pieds du berceau (voir schéma b, ci-joint).

• **PROCÉDURE** : après allumage, les fumées sortent par intermittence et les différentes phases n'ont pu être distinguées comme dans le cas précédent. La durée de

la carbonisation a été de 24 heures et le refroidissement s'est poursuivi sur 24 heures.

Les jus pyroligneux sont évacués par un robinet situé à la base du fût vertical.

• **RÉSULTATS** : ils sont donnés au tableau B suivant. Cette méthode a l'avantage de fournir un produit très bien carbonisé où le taux de brûlés est le plus faible ; elle est très dispendieuse en combustible ce qui entraîne un mauvais rendement énergétique.

c) Four métallique

A la différence du procédé précédent, la carbonisation ne nécessite pas d'apport énergétique de l'extérieur. La réaction utilise une partie du matériau comme combustible.

• **DISPOSITIF** : au stade expérimental, il est constitué par un fût métallique de 200 litres disposé verticalement, équipé d'un couvercle étanche pour l'enfournement et d'ouvertures munies d'opercules pour régler l'évacuation des fumées et le débit d'oxygène. Au stade pilote, le four aura une capacité de 8 m³ et sera démontable.

Pour le remplissage, les briquettes sont introduites en vrac par la partie supérieure (voir schéma c) ci-après).

• **PROCÉDURE** : après allumage les ouvertures sont maintenues béantes pendant 45 mm afin de provoquer une importante élévation de température qui amorcera ainsi la réaction exothermique. La fermeture totale des ouies intervient deux heures après l'allumage.

Seul le volet pour l'évacuation des fumées est maintenu légèrement ouvert tant que les vapeurs blanches se dégagent, soit pendant 12 à 14 heures. Dès l'apparition des fumées bleues, le four est fermé hermétiquement et



FOUR METALLIQUE DE CARBONISATION

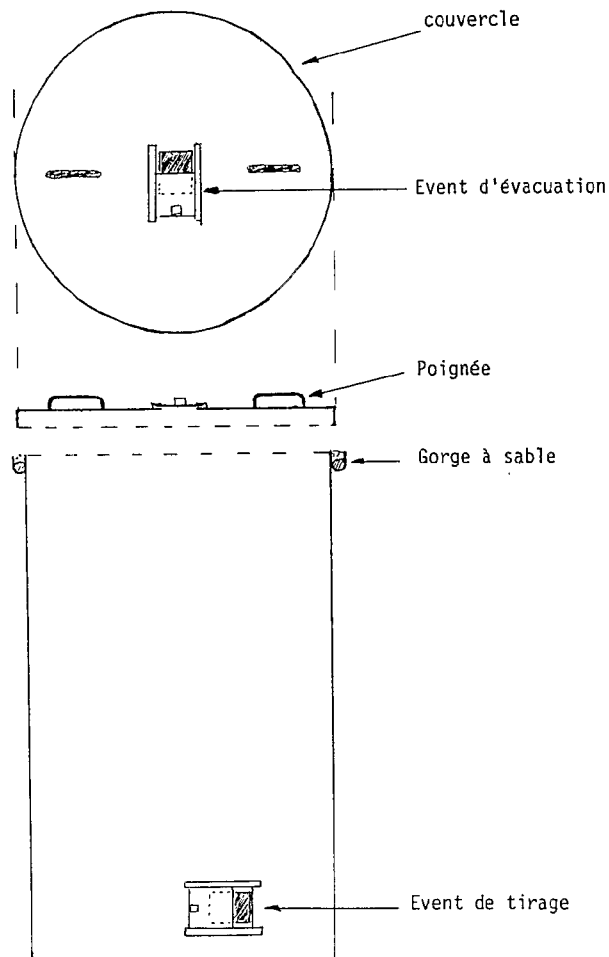


Schéma C.



la réaction se poursuit à l'abri de l'air, sous le contrôle d'un préposé, pendant encore une vingtaine d'heures. Au total c'est un délai de 36 heures qui est nécessaire à la carbonisation. Le refroidissement prend 24 heures.

• RÉSULTATS : on se reportera au tableau B ci-dessus.

Le produit obtenu est de bonne qualité, le rendement pondéral est semblable à celui des autres méthodes. Il présente l'avantage de minimiser les besoins en combustible. La durée du processus n'excède pas 60 heures au total.

Ci-contre, four métallique de carbonisation.

Carbonisation de la tourbe méthode en cornue

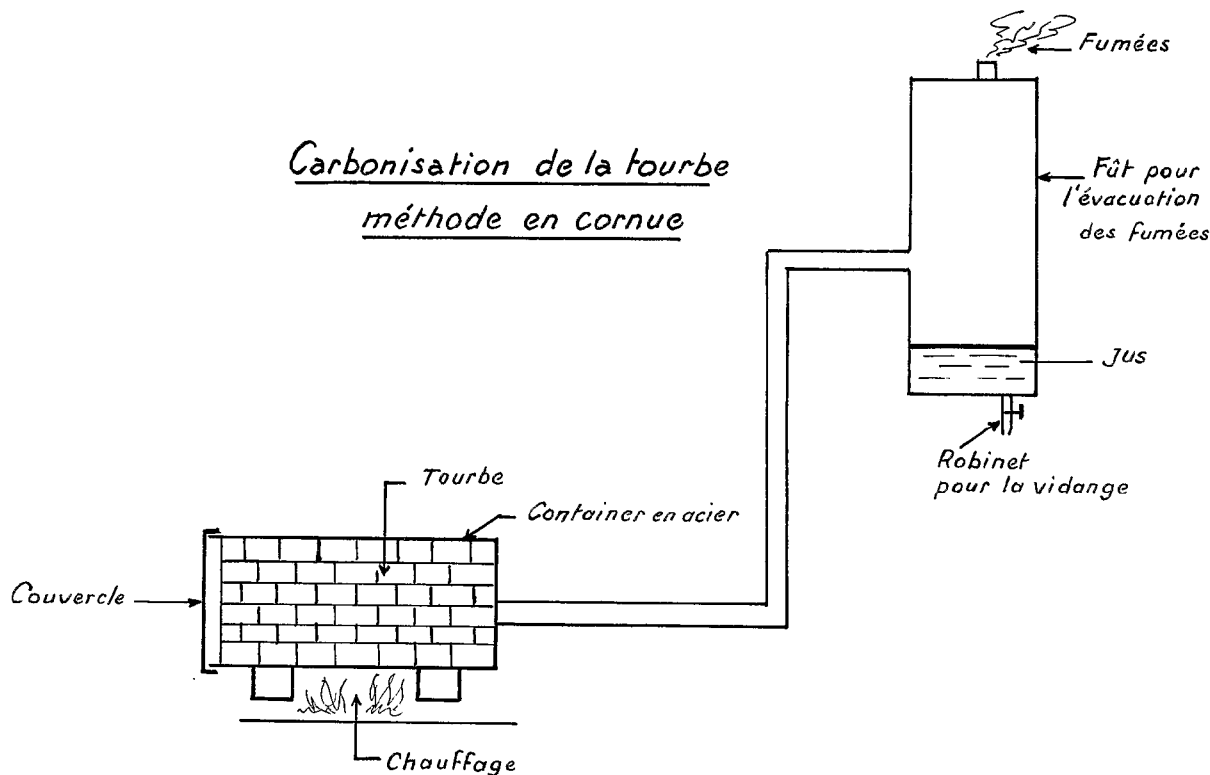


Schéma B.

Au vu de ces résultats, la méthode « cornue » n'est pas envisageable car elle nécessite une quantité de combustible très importante. La méthode casamançaise, qui a l'avantage d'être connue des charbonniers, n'est pas adaptée aux caractéristiques physiques du matériau et demande de grandes quantités de paille pour assurer l'étanchéité de la meule. La méthode du four est, par conséquent, la plus séduisante, mais elle a l'inconvénient de nécessiter un investissement au départ incompatible avec les ressources des nombreux charbonniers traditionnels.

Carbonisation de la tourbe effectuée au CTFT

Afin d'avoir une indication sur le comportement éventuel de la tourbe sénégalaise à l'échelle industrielle, quelques tests de pyrolyse ont été réalisés par la division de Chimie du CTFT. L'appareillage installé permet, en effet, d'obtenir des résultats à peu près équivalents à ceux enregistrés dans les unités industrielles modernes.

DESCRIPTIF DE L'APPAREILLAGE

Les carbonisations sont effectuées dans un four électrique de laboratoire HERRMANN MORITZ, à régulation et contrôle automatiques (voir schéma d, ci-après)

sur des briquettes de tourbe fabriquées au Sénégal. Sa contenance est de 10 litres environ. Le creuset acier inox est entouré de résistances métalliques, non apparentes, qui assurent le chauffage sur les côtés et sur le fond. La température est régulée par une canne pyrométrique sur ces résistances.

Le couvercle en acier inoxydable repose sur le creuset par l'intermédiaire d'un joint thermo-plastique et y est fixé au moyen de huit écrous et boulons avec rondelles. Au centre, une tuyauterie avec robinet pointeau permet l'évacuation des gaz et goudrons.

A côté, un orifice avec fourreau est prévu pour une canne pyrométrique destinée à la mesure interne des températures.

Un boîtier séparé regroupe l'ensemble régulation et mesure des températures.

La régulation est pilotée par un programmeur de température à canne découpée. Ce couple de régulation est en chromel alumel. La mesure des températures s'effectue grâce à un enregistreur.

Un cordon relie four et boîtier.

Le tuyau d'évacuation est équipé d'un réfrigérant à eau.

Les produits condensables sont récupérés dans leur totalité dans un récipient en verre. Les gaz formés sont mesurés à l'aide d'un compteur SCHLUMBERGER après passage sur filtres pour retenir des goudrons qui auraient pu être entraînés. Le schéma d suivant représente le montage de l'appareil.

Schéma d - Appareil de laboratoire pour carbonisation

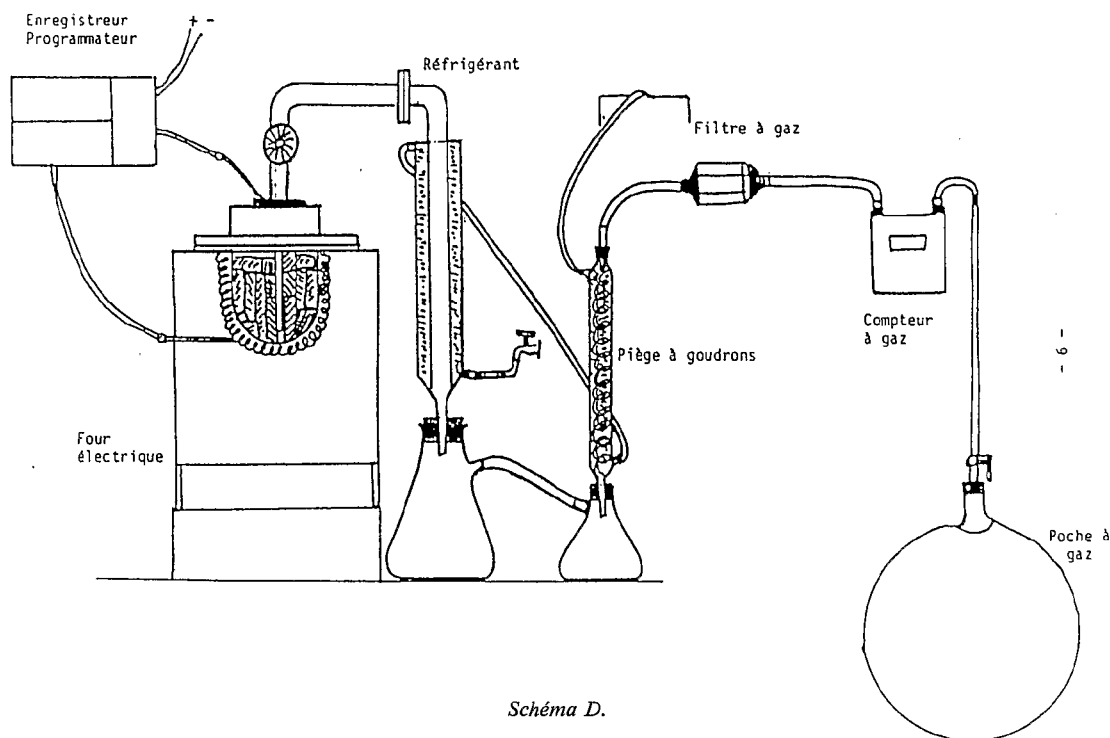


Schéma D.

PROCÉDURE

Le matériel à carboniser sec à l'air est introduit dans le four que l'on remplit au maximum pour éviter d'avoir de grandes quantités d'air dans le four. Le schéma de la pyrolyse est le suivant :

- montée en température de 20° à 100° en 3 heures,
- séchage à 100-120° pendant une nuit (18 heures),
- montée en température de palier : 1° à la minute (soit environ 6 heures pour 500° ou 4 heures pour 380°),
- palier de recuit : 5 heures.

Dans le cas de la tourbe deux températures de carbonisation ont été retenues : 380° et 500°. Les paliers de recuit ont été maintenus pendant 5 heures pour chaque température, ce qui a correspondu à des durées totales de traitement de 30 heures pour 380° et de 32 heures pour 500°.

RÉSULTATS

Les résultats de carbonisation sont donnés au tableau C ci-après.

TABLEAU C
RÉSULTATS DE CARBONISATION DES TOURBES AU LABORATOIRE

Température	Rendement en charbon %	Rendement en pyroligneux		Rendement en gaz (litres %)
		Total récupéré (*) %	Moins humidité de la tourbe %	
380°	64,7	30,3	16,2	12,2
500°	58,9	30,8	16,7	16,0

(*) Correspondant aux produits formés plus l'eau provenant de l'humidité de la tourbe.

TABLEAU D
QUALITÉ DES TOURBES CARBONISÉES AU LABORATOIRE

Température de recuit	Densité des charbons	Friabilité % (*)	Reprise (**) d'humidité %	p.c.s. Kcal/kg	Cendres %	Matières volatiles %	Carbone fixe %
380°	0,9	30,1	3,4	4,080	49,5	10,6	39,9
500°	1,0	31,5	4,3	4,760	48,5	5,6	45,9

(*) Friabilité : % de poussière produite par 500 tours de tambour.
(**) Après 3 jours à 20 °C et 65 % d'humidité relative.

Les rendements en charbon semblent élevés. Mais il ne faut pas oublier qu'ils contiennent de forts pourcentages de cendres. Ces rendements n'ont donc pas de signification réelle comme on s'en rendra compte à l'analyse des charbons (résultats transcrits au tableau D ci-dessus).

Les charbons de tourbe sont denses mais très friables.

Comme prévu, ils sont très riches en cendres, presque 50 %, ce qui représente un inconvénient certain pour leur utilisation. Ces matières minérales font que le pouvoir calorifique est très bas (ainsi que le carbone fixe). Notons que si l'on enlève les résidus, le p.c.s. du charbon remonte à 7.500-7.900 Kcal/kg. Les rendements en charbon « vrai » ne sont que 32 à 30 %.

Il apparaît donc comme nécessaire d'éliminer le plus possible le sable et la terre mélangés avec la tourbe (par lavage ou flottaison, etc...).

Les pyroligneux recueillis ont été analysés. Ils ont une densité de 1 (0,99-0,98). Ils contiennent environ 50 % d'eau et 16 à 20 % de goudrons en volume. Les quantités pondérales des goudrons formés par rapport à la tourbe sont respectivement de 4,3 % et 5,6 pour 380° et 500°. Ces goudrons ont un pouvoir calorifique de :

7.890 Kcal/kg pour la température de 380°
et de 8.200 Kcal/kg pour la température de 500°.

et leur densité est de l'ordre de 0,85 à 0,9, donc un peu inférieure à celle du pyroligneux total.

ÉTUDE DES BOIS FOSSILES CONTENUS DANS LA TOURBE

Afin de valoriser au maximum les gisements de tourbe sénégalaise et de voir s'il était possible d'employer un sous-produit existant en quantités non négligeables, il a été également décidé de tester sur place et au laboratoire de Chimie Energie de Nogent, les bois fossiles extraits des tourbières.

Nature de l'échantillon testé

L'échantillonnage de bois fossiles expédié au CTFT par le département FORESTO de l'ISRA de Dakar était constitué de la façon suivante :

- Lot A₁ : 12 bûches numérotées de 14 à 25 correspondant à du bois paraissant (après examen rapide à l'œil nu) être peu carbonifié.
- Lot B₁ : 13 bûches numérotées de 1 à 13, correspondant à du bois paraissant (après examen rapide à l'œil nu) très carbonifié.

Les échantillons de bois ont été adressés à la Division d'Anatomie pour leur identification. La plupart ont été reconnus, les noms proposés sont indiqués dans le tableau E suivant. On remarque que la même espèce se retrouve très souvent. En particulier, le lot A₁ est constitué d'une seule et même essence.

TABLEAU E

IDENTIFICATION DES BOIS FOSSILES SÉNÉGALAIS

N°	Nom scientifique	Famille
1	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
2	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
3	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
4	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
5	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
6	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
7	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
8	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
9	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
10	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
11	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
12	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
13	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
14	<i>Chrysobalanus icaco</i>	Chrysobalanacées
15	<i>Chrysobalanus icaco</i>	Chrysobalanacées
16	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
17	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
18	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
19	<i>Vismia sp.</i>	Hypericacées
20	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
21	? (structure trop mauvaise pour identification)	
22	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
23	<i>Syzygium cf. guineense</i>	Myrtacées
24	? (peut-être <i>Syzygium</i>)	
25	<i>Chrysobalanus icaco</i>	Chrysobalanacées

TABLEAU F
ANALYSE CHIMIQUE DES BOIS FOSSILES

Echantillon	p.c.s. Kcal/kg	Cendres 425 °C %	SiO ₂ %	% C	% H	% N	% O
N° 9	4.960	1,25	0,018	49,4	5,65	0,011	43,7
N° 16	5.020	1,20	0,040	54,0	5,30	0,017	39,5
Mélange A ₁	4.995	1,35	0,240	51,95	5,65	0,005	41,05
Mélange B ₁	4.860	2,10	0,035	52,5	5,35	0,004	40,05

A partir de ces deux lots des mélanges à parties égales ont été constitués.

Par ailleurs, les n°s 9 et 16 ont été traités à part, car ils apparaissaient bien différenciés.

Analyse des matières premières

Sur ces quatre échantillons (mélanges A₁ et B₁ et bois n°s 9 et 16), on a mesuré le pouvoir calorifique, les teneurs en cendres et silice et la constitution élémentaire. Les résultats sont donnés au tableau F ci-dessus.

TAUX DE CARBONE TOTAL

On remarque que l'échantillon n° 16 correspond au bois le plus fossilisé (il contient, en effet, 54 % de carbone) et le bois n° 9 au bois le moins modifié. On rappelle que la moyenne des bois normaux contient autour de 49-50 % de carbone.

Les mélanges A₁ et B₁ sont intermédiaires avec des teneurs en carbone de l'ordre de 52 %. Notons que les différences sont très faibles entre les deux types de mélanges qui correspondent, en effet, à des mélanges moyens.

TENEURS EN CENDRES

Les taux de cendres sont de l'ordre de 1,2 à 1,4 % pour les trois premiers tests, ils sont un peu plus élevés pour le mélange B₁ (2,1 %) pour lequel, on a remarqué que les cendres avaient une teinte brun-rouge indiquant la présence vraisemblable de fer.

POUVOIR CALORIFIQUE

On a enfin déterminé, au moment des essais, la siccité et la densité des échantillons pris séparément puis calculé les moyennes pour les mélanges A₁ et B₁. Les chiffres trouvés sont donnés au tableau G.

Les valeurs moyennes des deux lots sont assez semblables encore une fois.

Carbonisation en laboratoire

SCHÉMA DE TRAITEMENT

Les essais de carbonisation ont été effectués dans le four électrique HERMAN MORITZ dont dispose le CTFT et dont le schéma a été donné précédemment.

Pour les lots A₁ et B₁, deux températures de carbonisation ont été retenues : 380° et 500°. Le schéma de traitement était le suivant :

- Montée de 20° à 110° : 3 heures.
- Palier de séchage à 110° : 18 heures.
- Montée de 110° à 380° : 4 heures,
à 500° : 6 heures. ou
- Recuit à la température de palier : 5 heures.

Comme pour les tourbes, les durées totales de carbonisation étaient donc de 30 heures pour les pyrolyses à 380° et de 32 heures pour les pyrolyses à 500°.

RÉSULTATS DE CARBONISATION

Les résultats obtenus du point de vue rendement en charbon, pyroligneux et gaz sont donnés au tableau H suivant.

Les rendements enregistrés sont, dans leur ensemble, assez peu différents entre mélanges A₁ et B₁, ce qui confirme les résultats de l'analyse chimique. C'est la température de palier qui conditionne les quantités de charbon, de gaz et de pyroligneux. Une augmentation de cette température de 120° (de 380 à 500°) entraîne

TABLEAU G
SICCITÉ ET DENSITÉ DES BOIS FOSSILES

Lot A ₁ peu carbonifié			Lot B ₁ très carbonifié		
N°	Siccité %	Densité	N°	Siccité %	Densité
14	87,1	0,60	1	87,1	0,86
15	88,1	0,61	2	85,0	0,64
16	82,5	0,74	3	85,7	0,72
17	87,8	0,63	4	90,1	0,69
18	85,5	0,60	5	84,3	0,57
19	90,3	0,85	6	90,9	0,59
20	86,7	0,70	7	87,9	0,52
21	87,8	0,66	8	92,3	0,54
22	87,7	0,59	9	85,5	0,78
23	87,9	0,60	10	86,9	0,70
24	87,6	0,65	11	89,9	0,80
25	89,5	0,51	12	76,4	0,83
			13	80,8	0,74
Moyennes Mél. A ₁	87,4	0,65	Moyennes Mél. B ₁	86,4	0,69

une diminution de 5 points pour les rendements en charbon. On verra plus loin, que cette perte en rendement est compensée par une meilleure qualité du charbon. On remarque, cependant, que ces valeurs de rendement sont malgré tout plus élevées que celles rencontrées habituellement avec des bois classiques qui donnent plutôt, à 500°, 32 à 34 % de charbon.

Ces différences confirment que la fossilisation a déjà été plus ou moins entamée.

TABLEAU H
RÉSULTATS DE CARBONISATION
DES BOIS FOSSILES AU LABORATOIRE
DE CHIMIE-ÉNERGIE DU CTFT

Mélange	Lot A ₁ (peu carbonifié)		Lot B ₁ (très carbonifié)	
	380°	500°	380°	500°
Température	380°	500°	380°	500°
Rendement en charbon (% poids du bois anhydre)	43,6	38,6	44,1	38,6
Rendement en pyroligneux total (ml pour 100 g de bois anhydre)	46,8	49,6	49,5	52,2
Goudrons (% volume du pyroligneux)	10,0	12,0	9,6	10,8
Goudrons (% en poids par rapport au bois anhydre)	4,6	5,9	5,1	5,3
Rendement en gaz (litres pour 100 g de bois anhydre)	16,3	19	15,4	18

REMARQUE : un bilan des résultats peut être fait en tenant compte :

- de l'humidité des bois qui se retrouve dans le pyroligneux,
- de la densité des gaz et pyroligneux (celle-ci étant voisine de 1 et celle-là dépendant de la composition, mais estimée à 1,3).

On a alors :

- Lot A₁ (380°) : Bilan : 43,6 % de charbon + (46,8-12,6) % de pyroligneux + (16,3 × 1,3) % de gaz = 99,0.
- Lot A₁ (500°) : Bilan : 38,6 % de charbon + (49,6-12,6) % de pyroligneux + (19 × 1,3) % de gaz = 100,3.
- Lot B₁ (380°) : Bilan : 44,1 % de charbon + (49,5-13,6) % de pyroligneux + (15,4 × 1,3) % de gaz = 100,0.
- Lot B₁ (500°) : Bilan : 38,6 % de charbon + (52,2-13,6) % de pyroligneux + (18 × 1,3) % de gaz = 100,6.

Les résultats de carbonisation sont donc corrects.

ANALYSE DES CHARBONS

Les caractéristiques physico-chimiques des charbons ont été déterminées. Les chiffres trouvés sont donnés au tableau I suivant.

TABLEAU I

ANALYSE DES CHARBONS OBTENUS AU LABORATOIRE À PARTIR DES BOIS FOSSILES

Mélange	Lot A ₁ (peu carbonifié)		Lot B ₁ (très carbonifié)	
	380°	500°	380°	500°
Température de carbonisation	380°	500°	380°	500°
Pouvoir calorifique supérieur (Kcal/kg)	7 590	8 170	7 450	7 970
Cendres totales à 425° C %	2,85	3,6	4,7	5,3
Matières volatiles %	19,1	8,65	18,75	6,85
Carbone fixe %	78,0	87,8	76,6	87,9
Friabilité du charbon %	22,7	21,5	23	21

Une fois encore, les chiffres enregistrés montrent que les deux lots donnent des charbons très voisins à l'exception des teneurs en cendres où l'on retrouve, pour le mélange B₁, des % assez importants, ce qui vérifie les analyses des cendres de bois. Une élévation de température permet d'obtenir des charbons de pouvoir calorifique élevé, contenant peu de matières volatiles et beaucoup de carbone fixe. Notons cependant que, même dans le cas des charbons cuits à basse température, les quantités de carbone fixe sont supérieures à 75 %, ce qui est tout à fait convenable pour un usage ménager.

Dans leur ensemble, les charbons sont moyennement friables.

REMARQUE : Il n'a pas été possible de mesurer de façon valable la densité moyenne des charbons, on a cependant pu déterminer celle de deux échantillons préalablement marqués, les n° 9 et 16.

Le charbon n° 9 cuit à 500° avait une densité de 0,61 et le charbon n° 16 cuit à 500° une densité de 0,59.

Si l'on rapproche ces chiffres de ceux trouvés pour la densité des bois, on note que la perte en densité, due à la carbonisation à 500° se situe autour de 20 % comme le montrent les chiffres suivants :

	Densité bois	Densité charbon	Coefficient à 500°
n° 9	0,78	0,61	0,78
n° 16	0,74	0,59	0,80

On peut donc estimer la densité moyenne des charbons de mélanges A₁ et B₁ à partir de celle des bois et l'on aura pour des températures de traitement à 500° :

Densité du charbon de mélange A₁ : 0,52.

Densité du charbon de mélange B₁ : 0,55.

Pour les charbons cuits à 380°, les densités sont vraisemblablement un peu plus élevées.

Essais sur le terrain

Des tests de carbonisation en meules ont été réalisés au Sénégal sous le contrôle du département FORESTO de l'ISRA, sur des mélanges analogues de bois fossiles A₂ et B₂. Les charbons résultants ont été adressés au CTFT qui a procédé aux analyses dans les mêmes conditions que celles retenues pour les charbons de laboratoire. Les chiffres trouvés sont donnés au tableau J ci-après.

TABLEAU J

ANALYSE DES CHARBONS FABRIQUÉS AU SÉNÉGAL À PARTIR DE BOIS FOSSILES

Mélange	A ₂	B ₂
p.c.s. (Kcal/kg)	7 300	6 100
Cendres totales % (à 425 °C)	4,65	3,0
Matières volatiles %	18,8	37,3
Carbone fixe %	76,5	59,7
Friabilité %	15,7	24,3
Densité approximative	0,6	0,6

On voit tout d'abord que le charbon préparé à partir du mélange B₂ est nettement moins intéressant que celui qui provient du mélange A₂ (faible p.c.s., forte teneur

en matières volatiles, carbone fixe très bas). Cette différence est due à l'hétérogénéité des conditions de carbonisation au sein d'une même meule.

Par ailleurs, si l'on compare les charbons artisanaux aux charbons de laboratoire, on remarque que le charbon A₂ se rapproche des charbons A₁ et B₁ cuits à 380°, ce qui est logique puisque les températures atteintes sont du même ordre.

Conclusions des essais sur bois fossiles

L'étude a montré que l'échantillonnage était constitué de bois peu modifiés (bois n° 9) et de bois déjà fossilisés partiellement (bois n° 16). Les mélanges réalisés se sont révélés assez semblables ce qui montre qu'une caractérisation et un tri basés sur une simple observation visuelle sont difficilement réalisables.

Il sera donc plus réaliste de carboniser les bois en un seul lot.

Les tests de laboratoire ont permis d'obtenir, avec un rendement peu supérieur à celui des bois normaux, des charbons assez intéressants dont la qualité dépend de la température de pyrolyse.

Avec une carbonisation en meule, il semble possible de fabriquer des charbons se rapprochant de ceux préparés au laboratoire à basse température.

PERSPECTIVES

A la suite des résultats des différents rapports et études, les bailleurs de fonds ont accepté de financer sur deux ans le montage d'une unité pilote de carbonisation de la tourbe.

Les données expérimentales ont poussé les responsables à choisir la carbonisation en fours métalliques de briquettes obtenues par moulage.

L'unité pilote devrait comprendre une batterie de cinq fours, mis au point par le Sénégal, fonctionnant en continu pendant trois mois : la quantité de produit obtenue devrait être de l'ordre de 400 T de briquettes carbonisées. Au terme de cette phase, on envisagera l'exploitation en vraie grandeur soit 70 tonnes/jour.

L'objectif de vulgarisation est de remplacer à

l'échéance 10 ans, la moitié de charbon de bois consommé à Dakar, par de la tourbe carbonisée. Cette perspective ne pourra être atteinte que :

- si les problèmes techniques sont résolus en ce qui concerne en particulier la diminution des taux de cendres,
- si les problèmes socio-économiques sont résolus,
- et si une politique des prix est menée en faveur du nouveau combustible.

L'emploi de bois fossiles, enfin, restera conditionné par les quantités de produits disponibles qui doivent être suffisantes pour justifier une transformation spéciale.

Remerciements :

Nous remercions particulièrement, Monsieur le Directeur de la Compagnie des Tourbières du Sénégal et ses Collaborateurs pour les informations et les différents documents auxquels nous avons pu accéder.