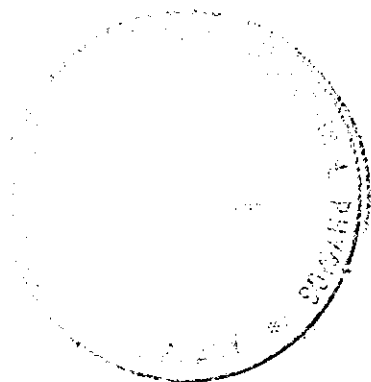




INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS
34100 TRIESTE (ITALY) - P.O. B. 589 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2340-1
CABLE: CENTRATOM - TELEX 400392-1

HA.SMR/191 - 54

"COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA SCIENCE DES MATERIAUX POUR L'ENERGIE".
(26 août - 11 septembre 1986).

"LES FILIERES TECHNOLOGIQUES TECHNIQUES
DE LA FUSION".

Raymond Noel
Institut National des Industries Extractives
Liège, Belgique

Ces notes de recherche provisoires, sont destinées aux participants. Eventuellement, d'autres copies seront disponibles au bureau 231.

- la biomasse de diète, végétale et animale : bois mort, déchets d'activités d'industries agricoles, forestières et sylvicoles animales, ordures ménagères organiques. III

Mes parents ont rapidement sur la bromaxe morte et fossilisée, mais il n'est sans doute pas inutile de rappeler qu'elle fut, il y a bien longtemps, entre 30 et 300 millions d'années, une bromaxe bien vivante qui captait l'algae pour nous l'offrir solide qu'elle nous rend aujourd'hui.

Cette matière végétale est parfaitement reconnaissable sous le microscope comme nous le montrent les préparations suivantes, où sont nettement visibles à (B) cette, des fragments de tiges végétales (D3), des cuticules de feuille ou brin enroulé (D4) des mégas et des microspores, ou des algues (D5)

Quelques descriptions sont monnaie morte, mieux que de longs discours,
qui, contrairement à ce que d'accurs ont pu penser, ce sont toujours à peu
pres les mêmes considérations géologiques qui ont mené à l'élaboration des primi-
tives généralement éphémères du monde, en fait, alors de l'Antarctique ou du Mississippi (D)
ou l'impat reconnaît des zones fondamentales submergées, démantelées et découvertes.

Les paléontologues ont réussi, peu à peu, à reconstituer les principales "faunes" des formations dévoniennes fossiles et leurs allées croisées, successivement éteintes de ces faunes, d'être au début (250 millions d'années) puis tertaire (30 millions d'années) et enfin en passant de la mer à l'intérieur des terres.

DY
D15

Il y a, au sein des millénaires, une étonnante convergence de formes diverses.
Le milieu existait.

(D6) Cette bromure végétal a donne pres de 50% des rendements maximales en
cette famille, les 10 autres pourcents provenant du pétrole et du gaz
naturel, essais, une partie non négligeable de ce gaz naturel (le gaz
ment des v. 132 par exemple, m et d'acier d'acier qui du méthane (1 gallon
de gaz du gaz au 2-degré) provenant de la terre carbonification des
charbon -

de la charbon a et bienement et subit a une ombre ble d'après trois
longtemps, dans les entrées on il effleur, il fait attendre la fin du XII
siècle pour voir le début de son extraction systématique, mais encore
sporadique, mais dès le XIII siècle, les seules mines parlent de son
utilisation pour le travail du fer, preuve que l'on appelait alors les
forges.

Le charbon (lignite, houille, anthracite) est beaucoup plus largement réparti à travers le monde que le pétrole et l'Afrique en connaît un certain nombre de gisements, tant au Nord qu'au Sud et au Centre. Je crois qu'un effort supplémentaire de perfection pourrait et devrait être accompli dans ce domaine.

Même si, comme le veut la tradition, Moï utilisait déjà les produits
géologiques pour caler son arc, il faut attendre la fin du 19^e
siècle, avec le premier sondage pétrolier de Drake, aux Etats-Unis,
pour que le pétrole connaisse, à son tour, et une grande prospérité
et une expansion rapidement en énorme expansion, car sa
forme liquide lui donne, d'emblée si j'en, un énorme avantage sur
le charbon.

de son mode de formation a été beaucoup plus universel que celui
de charbon on s'accorde, aujourd'hui, pour le reconnaître, comme au
charbon, une origine surtout végétale ou, du moins pour être précis, les
éléments microorganismes qui en sont la base, mais l'influence du soleil,
ont synthétisé les précurseurs de cette précieuse biomasse.

D17) La disposition suivante (D17) vous montre une de ces algues, Bathycole
brunne, capitant, sous l'œil d'un microscope de notre laboratoire,
une peculiar goutte d'hydrocarbures pétroliers.

Les réserves pétrolières sont beaucoup plus limitées que les réserves charbonnières, en dépit d'un énorme effort de prospection dans le monde entier. La crise pétrolière a eu, notamment, pour effet de développer de nombreuses recherches en vue du remplacement du pétrole par divers sources énergétiques et, particulièrement par le charbon et le biomasse et nous verrons que les mêmes techniques sont mises au point peuvent être appliquées à ces 2 substituts.

Les schistes charbonniers, qui sont les rochers anciens au charbon, mais
peux se séparer de lui avant exploitation et mis en caissons ou bûtes peuvent
être souvent être utilisés en cimenterie ou en ciment électrique - La figure n° 10
monte un sondage effectué dans un bûte en zone d'origine du terrain en carbone, sans
exploitation. Voici la seule machine utilisée de la petite Belgique, on pourrait aussi utiliser
60 millions de TEC, soit 12% la consommation annuelle totale que nous avons
de déverser au Kenya

Les besoins économiques représentent des axes pleins de possibilités
que les experts peinent à saisir et, non qu'ils n'aient été, ils pourraient être
de l'ordre de 10 milliards de TEP. Malheureusement, la situation par
des besoins techniques qui ne sont pas encore satisfaits.

est, lui aussi, très considérable.

Enfin, que des sels gazeux naturels, selon qui c'est, en fait, du biogaz provenant de la transformation de la température suffisamment élevée, soit des charbons, soit des schistes, qui s'oxydèrent parfois des glissements considérables mais, qui a été identifié, monéral, il est certainement le même abondant des carbonates fossiles.

Orce la tourbe, nous nous rapprochons de la briomane vivante puisque au lieu la tourbe est le produit de la transformation d'un matériel végétal vivant dans des conditions écologiques bien spécifiques et, notamment, en conditions de fermentation = anaérobiques très particulières.

La formation de la tourte et son phénomène continue, que l'on peut observer
on de nombreux endroits dans le monde et l'on estime que plus de dix millions
de tonnes de tourte se forment, chaque année.

La teneur en eau est malheureusement très élevée, plus de 80%, mais, quoiqu'en l'air sec, elle gêne, par combustion en centrale électrique, quelque 3500 mégawatts. L'Irlande est le pays européen avec le plus grandement ce combustible mais son utilisation la plus rationnelle serait la gazéification, moins chère que celle des charbon et produisant 4 x plus de gaz.

Combustion, gazéification : voici, précisément 2 filières énergétiques thermiques que nous allons pouvoir appliquer à la biomasse résiduelle et à ses déchets.

La combustion.

Le bois à brûler et le charbon de bois constituent en Afrique, et en Afrique seulement, la part la plus élevée de la consommation totale d'énergie. Le tableau suivant (T5) montre que, sur les 37 États cibles, les 8 pays non africains ont une consommation de bois-combustible inférieure à 55 % de la consommation énergétique totale, tandis que sur 29 pays africains, 15 atteignent ou dépassent 80 %, avec un maximum de 97 % au Mali.

Or, c'est précisément dans le Sahel que la situation menace de déconvenir dramatiquement, comme le montre le tableau suivant (T6) établi pour la forêt en zone tropicale sèche.

Comme on le voit, en moins de 25 ans, à partir du 1^{er} déséquilibre entre la consommation et la production forestière, la forêt aura pratiquement disparu, avec toutes les conséquences que cela comporte, c'est-à-dire une désertification à plus ou moins brève échéance, comme on le voit dans le tableau (T7), où l'on voit que c'est une fois encore l'Afrique qui serait, avec l'Arabie, le continent le plus touché.

Un plan d'action, pris en temps utile, permettrait heureusement d'éviter cette catastrophe. Comme le montre la figure suivante (T8) - Nous y aborderons seulement les traits qui concernent la consommation du bois comme combustible :

- 1^o : mieux utiliser le bois, c'est-à-dire, le brûler dans de meilleurs foyers, permet une économie de 5 %
- 2^o : de nouvelles habitudes culinaires, auxquelles est lié le mode de cuisson, permettraient une économie d'environ 15 % sur la consommation de bois prévue pour l'an 2000, mais cela implique une action de sensibilisation en profondeur sur la population et principalement sur les femmes
- 3^o : l'utilisation de combustibles de substitution, éventuellement du charbon de bois importé pourrait économiser 20 % sur la consommation prévue pour 2005 mais cette mesure dépend, évidemment, de facteurs économiques et, notamment, de l'évolution des marchés de ces.

On ne s'acharna donc pas, si, au cours de ces 10 dernières années, au moins 100 projets d'amélioration des foyers domestiques ont été élaborés et expérimentés avec l'implication des autorités nationales et internationales. Des laboratoires européens spécialement équipés se sont penchés avec beaucoup de précision sur les études théoriques et pratiques de rendement énergétique et de nombreux études, parfois très avancées, ont été publiées à ce sujet montrant, notamment, que, dans les meilleurs cas, on pourrait réduire de 50 % la consommation de bois.

Une page de garde de "Vita nuova" (T9) et de nombreux articles dans des revues comme "Appropriate Technologies" ou "La Recherche" ont attiré l'attention sur ce problème, comme on le voit dans la figure suivante (T10) (T11), mais, hélas, à peine 10 de cette centaine de projets ont survécu plus de 2 ans.

Enfin, à ce propos, John Tinker, directeur de l'Earthscan, qui écrit fin 1984 - (voir tout de l'ouvrage, page 58)

Est-ce à dire qu'il faut faire tomber les bois ? En aucune façon, mais il faut bien se rendre compte de tous les aspects du problème afin que les perfectionnements proposés soient aussi bien adaptés que possible au mode de vie, aux pays et aux régions et 5 % d'économie dans ce domaine peuvent être vitales pour atteindre le but proposé.

DOSSIER

tuit en combustible. Il n'existe pas de bois de chauffage, l'électricité ou le pétrole ne sont pas à portée de leur bourse, de sorte qu'il ne leur reste d'autre ressource que de glaner des brindilles, le chaume après la récolte ou des feuilles mortes pour faire cuire leurs repas.

Dans quelle mesure le biogaz est-il alors une énergie « verte » appropriée si, en introduisant cette technologie, on prive les plus pauvres parmi les pauvres de leur combustible de cuisson ? Dans quelle mesure cette technologie est-elle écologiquement saine si elle implique que les feuilles mortes et le chaume servent de combustible plutôt que de matière organique pour nourrir le sol ?

Ce qu'il ne faut pas faire

Brûler du bois dans un âtre équivaut à gaspiller : il semble que plus de la moitié de la chaleur soit perdue. Aussi les organismes d'aide se sont-ils récemment intéressés à l'amélioration des fourneaux. Mais quelle est l'utilité réelle de ces fourneaux ? Une étude d'Earthscan (2) sur la question a permis de dégager certaines conclusions inattendues.

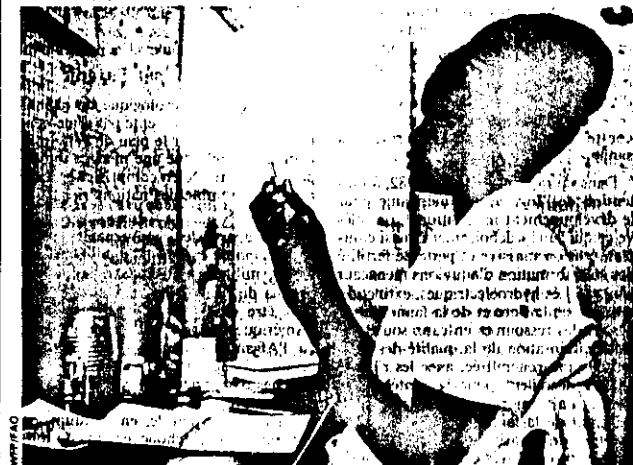
Les populations Mossis de Haute-Volta ont un plat de base, le tô, fait notamment de millet bouilli, qui est ensuite pilé à l'aide d'un énorme bâton. Cette opération se déroule de manière satisfaisante dans de vastes récipients de cuisson traditionnels, installés en toute sécurité

sur trois pierres de grande taille. Prenons à présent l'un de ces nouveaux fourneaux améliorés, efficaces mais pas très résistants, et essayons de placer sur ce fourneau un récipient pour y piler du millet imprégné d'eau. Le fourneau s'effondrera. En d'autres termes, certains de ces nouveaux fourneaux ne conviennent pas aux populations Mossis de Haute-Volta, parce que celles-ci ne pourront pas s'en servir pour faire cuire le tô. Et si elles ne peuvent y faire cuire du tô, les femmes ne s'en serviront pas.

Dans la majeure partie d'Afrique orientale, où la température est bien plus fraîche qu'en Haute-Volta, les foyers de cuisson sont installés à l'intérieur des cases, où ils remplissent un certain nombre de fonctions additionnelles. Ils éclairent et réchauffent, la nuit. Ils sont un lieu de rencontre social : les gens s'installent autour du feu, contemplent la braise et parlent. La fumée envahit la case — ce qui écarte les insectes piqueurs et porteurs de maladie — et monte vers le toit, où sont entreposés le maïs et d'autres aliments — ce qui protège le garde-manger de la vermine et de la pourriture.

Les nouveaux fourneaux améliorés ne donnent généralement ni foyer lumineux autour duquel parler, ni fumée pour tenir les insectes à l'écart. Les villageois du Kenya, comme ceux de Haute-Volta, se refuseront à utiliser un fourneau qui ne répond pas réellement à leurs besoins, même si, sur le plan de la thermodynamique, celui-ci s'est révélé bien plus performant en laboratoire pour la conversion du bois à brûler en chaleur de cuisson.

(2) Gerald Foley, Patricia Moss et Lloyd Timberlake, Stoves and Fires, Earthscan, 10 Peroy St., London W1, 3.50 UKL.



Une infirmière dans un hôpital à Bourkina-Fasso (ex Haute-Volta). « Le nombre de robinets pourrait être un bien meilleur indicateur de la santé publique que le nombre d'hôpitaux »

son. (En réalité, s'il est vrai que les nouveaux fourneaux consomment souvent moins de combustible, en laboratoire, que les âtres, les essais qui ont été effectués à domicile semblent indiquer que l'économie de combustible est souvent presque inexistante).

Cet exemple montre bien que de telles options ne sont pas des formules magiques et qu'elles ne fonctionnent pas forcément du seul fait qu'elles sont « vertes ». En certains lieux et en certaines circonstances, elles sont utiles, dans d'autres elles ne le sont pas.

Le développement doit également être mis en relation avec les traditions et les qualifications des populations concernées. Il existe, par exemple, une longue tradition de culture du riz dans le Sud-Est asiatique, où les paysans travaillent les pieds dans l'eau pour obtenir deux et souvent trois récoltes par an. Au Sahel, des centaines de millions de dollars ont été dépensés pour créer des champs de riz irrigués le long du Niger. Cette opération a été un échec quasi-total. Nulle part, il n'a été possible d'obtenir régulièrement le fût-ce que deux récoltes par an : le sol s'est imbibé d'eau et est devenu incultivable, en raison du manque d'entretien des systèmes de drainage.

Les habitants du Sahel n'ont-ils pas la capacité de gestion nécessaire pour maîtriser la culture du riz, où les qualifications techniques pour maintenir les canaux de drainage en état leur font-elles défaut ? Quelle que soit la raison, le fait que ces populations ne souhaitent pas cultiver le riz est un aspect tout aussi réel du développement que le fait que le Sahel se caractérise par une pluviosité relativement faible. Quoi qu'il en soit, c'est un non-sens de continuer à injecter des fonds dans des projets de culture irriguée du riz aussi longtemps que l'on n'aura pas réussi à faire fonctionner les systèmes existants.

Développement et écologie

La nécessité de replacer le développement dans son contexte écologique, c'est-à-dire de prendre en considération, avant toutes choses, les populations qui devraient en bénéficier, est particulièrement bien illustrée par la question de l'eau et des conditions sanitaires.

Le nombre de lits d'hôpital par centaines de milliers de personnes est traditionnellement considéré comme un indicateur assez valable des services de santé publique. En 1980, lorsqu'a été lancée la décennie mondiale de l'eau, Halfdan Mahler, Directeur général de l'Organisation mondiale de la santé, à Genève, a émis l'idée que le nombre de robinets pourrait être un bien meilleur indicateur

Le livre est paru le 27 septembre 1984
pages 1 et 59

Toujours dans le domaine de la combustion, nous aborderons maintenant celle de réactions énergiques plus importantes, distinctes, par exemple, du chauffage de substances et de leur entrapées atmosphériques et industrielles qui nécessitent des quantités importantes d'air chaud et/ou de vapeurs (brûleries, serres, papeteries, etc. D.19, D.20)

Ici, une nouvelle technique commence à faire ses preuves et connaît un développement de plus en plus large - il s'agit de la combustion en lit fluide et de la brève possibilité qu'elle offre à l'utilisation de nombreux déchets végétaux.

D.19 Imaginons (D.18) un ^{cuve} récipient métallique contenant du sable reposant sur un filtre. Si de l'air est injecté très lentement vers le haut, à travers le filtre, il pousse entre les grains de sable sans les mouvoir - si la vitesse de l'air augmente graduellement, il arrivera un moment où les particules individuelles de sable seront poussées vers le haut, elles commenceront à être portées par le courant d'air et commenceront à se mouvoir dans le lit.

Et même encore plus élevée apparaît un changement important: le lit devient turbulent par mélange rapide des particules - Ses bulles, semblables à celles d'un liquide en ébullition, traversent le lit et la surface semble d'être faite d'écume.

Un lit de particules solides qui se trouve dans cet état est dit "fluide" parce qu'il a non seulement l'apparence mais aussi certains propriétés d'un liquide en ébullition.

Il existe une limite inférieure et supérieure de vitesse de l'air, entre lesquelles a lieu une fluidisation satisfaisante de sable ou de tout autre substance granulaire. La vitesse de l'air qui produit la fluidisation s'appelle "vitesse de fluidisation".

Dans un lit de matériaux solides, plus les particules sont grosses, plus grande doit être la vitesse de l'air (ou de tout autre gaz) de fluidisation. Pour des particules de calibre déterminé, plus elles sont denses, plus grande doit être la vitesse de fluidisation.

Dans la pratique, comme un lit fluide contient généralement des particules de différents grandeurs, la vitesse de fluidisation sera celle qui fluidifie la plus grande partie des particules, sans en entraîner une quantité excessive vers le haut.

Un lit fluide, nous venons de le voir, se compose, à beaucoup d'égards, comme un liquide et présente des caractéristiques importantes:

- le lit a une surface propre;
- toutes les particules exposées au lit sont rapidement chauffées à l'intérieur du lit;
- les objets peuvent flotter ou s'enfoncer dans un lit fluide suivant leur densité, comme dans un liquide;
- quand un lit est fluide, par suite de mélange intense des particules, la chaleur est rapidement transportée: l'une à l'autre, admettant une quasi uniformité de température, comme dans un liquide, ceci, à l'opposé d'un lit ordinaire dans lequel la chaleur est transmise par le lent processus de conduction d'une couche de particules à l'autre - des différences de température d'une couche à l'autre d'un lit fixe peuvent être très élevées.

- le mélange des particules dans un lit fluide est tel que la chaleur est transmise rapidement sur une surface plus grande, par exemple, sur un tube à eau qui lui est immergé et qui peut, par exemple, produire un courant de vapeur (D.20).

D.20 La figure suivante (D.21) montre le schéma d'une telle installation, qui permet de générer, à la fois, de la vapeur et du gaz pouvant être utilisés, après séparation, une turbine à vapeur et une turbine à gaz génératrices d'électricité.

Voici les qualités les plus importantes du lit fluide, il faut surtout retenir:

- une répartition très uniforme de la température dans le lit et

Depuis 1941, date de la création des premiers lit fluides par WINKLER, de très nombreux modèles de combustibles à lit fluide ont vu le jour. Il en existe à pression atmosphérique, à pression plus ou moins élevée, avec ou sans recirculation et de toutes les capacités entre le régime de 100 MW et 200 MW et 1 m³/s, maintenant, de 300 MW.

Pour la biomasse, il n'existe, à l'heure actuelle, que des appareils à pression atmosphérique, car ce sont les seuls qui puissent fonctionner efficacement dans des types de biomasse, dont les caractéristiques peuvent être très différentes les uns des autres, notamment la teneur en humidité. On peut même utiliser de la biomasse si très faible pouvoir calorifique et même de la paille, en la mélangeant avec un peu de charbon, pour assurer une combustion stable. Plusieurs appareils de ce type ont été réalisés, avec succès, dans l'état (Lappland) et en France (Bataigne). Les appareils de ce type ont résolu aussi, avec succès, la combustion d'autres matériaux, plus spécialement et avec moins de problèmes de pollution, de corrosion et d'entretien que les incinérateurs classiques.

Malgré ces remarquables performances, il reste encore beaucoup de problèmes à résoudre pour améliorer encore le mode de combustion et l'adaptabilité au mieux à tous les types de combustibles. Par exemple, situer le meilleur lieu d'injection du combustible au-dessus ou en dessous du lit, diminuer la quantité d'entraînées et des particules fines dans les gaz.

Un autre grand problème est la préparation de la biomasse, dont il conviendrait notamment pour optimiser l'efficacité du système, de sécher le colza et le tournesol en eau, afin qu'ils se présentent sous des formes plus constantes, par exemple: de granulés, de plaquettes, de briques, de bûchettes, etc...

Notre institut a commencé, avec des crédits généraux du gouvernement belge, le montage d'un appareillage de combustion en lit fluide qui nous permettra de "chauffer" grâce qu'elle permettra, notamment, d'engager un grand nombre de combustibles différents - Les performances de cet appareil seront analysées de façon très précise.

- un chromomètre portable donnera, en temps réel, la composition des fumées de combustion, ce qui permettra d'établir les bilans chimiques et thermiques;
- une instrumentation particulière permettra de mesurer la nature et le volume des émissions polluantes (poussières, SO_x...);
- par la technique de traçages radioactifs, on étudiera la circulation des combustibles dans le lit fluide et les phénomènes éventuels de ségrégation;
- on mesurera aussi la courbe d'extinction du lit fluide, c'est-à-dire la perte de matière solide entraine dans le courant gazeux, les transferts thermiques les caractéristiques des bulles et des grains de combustible et...

La puissance thermique de l'appareillage sera de 0,6 à 5 MW.

Après donc, très bientôt, nous pourrions disposer d'un outil très précieux pour l'évaluation de la filière énergétique thermique "combustion" de la biomasse.

Une autre filière énergétique thermique très importante dont s'occupe notre Institut est la gazéification.

Il nous faut être que la Belgique est le premier pays à avoir entrepris une étude de la gazéification industrielle du charbon à très grande proportion (plus de 100 millions). Elle est connue, maintenant à l'Allemagne et, plus récemment à la France et à la Grande-Bretagne, dans une recherche patronnée par la CEA, car les perspectives de cette étude sont à l'échelle de son utilisation énergétique car, de par le monde, des dizaines de millions de tonnes de charbon à grande proportion et, par conséquent, ensemble par les techniques d'usage d'exploitation, pourraient être utilisées à des fins énergétiques et thermo-chimiques.

22) Cette algorithme (D22) schématise le principe du procédé : deux forages à grande profondeur et distants l'un de l'autre de quelques dizaines de mètres occupent la coupe de charbon à valoriser et, par un tout nouveau système de gazéification, des "de la coupe" traversent la coupe de par en part. Il suffit, dès lors, de mettre le feu au charbon à la base d'un des forages et d'y introduire de l'air comprimé, enrichi ou non en oxygène et de recueillir les gaz de combustion par l'autre forage.

Si le principe est simple, la réalisation présente encore beaucoup de difficultés, mais je ne vais pas m'étendre sur ce principe qui est assez éloigné de l'application de la biomasse vivante qui nous intéresse maintenant.

Ai, en 1928, il n'y avait encore, en France, que 2 gazogènes en fonctionnement. On peut dire que, depuis cette époque, bien plus et un demi-million de ces gazogènes ont été construits et mis en service, notamment pendant la 2^e guerre mondiale, où ils ont été utilisés surtout pour le traction automobile.

Comme pour les appareils de combustion, il existe plusieurs dizaines de modèles différents de gazogènes, de très petits et à brûler primitifs, fixes et mobiles.

Sans le cas particulier des pays en développement, nous pouvons que les efforts soient surtout portés sur des appareils de faible capacité car, plus récemment, de gazogènes destinés à produire, eux aussi, de divers matériaux, cristallins, semi-conducteurs gazeux pouvant être utilisés comme carburant dans des moteurs à combustion interne bien adaptés ou dans de petits foyers.

Il faut donc pouvoir sélectionner des combustibles qui présentent une réaction granulométrique plus ou moins importante et qui contiennent des cendres fusibles en dessous de 1500°C.

Ces caractéristiques de performances techniques, particulières, sont seulement pour le gazogène, mais aussi pour l'ensemble de ses périphériques (alimentation en, démarrage, etc.).

13) Mais, voyons d'abord comment fonctionne un gazogène (D23).

Sans tout gazogène, il faut distinguer 4 zones de transformation de la biomasse, auxquelles correspondent des zones de températures déterminées.

12) Premièrement, pour faire les côtes, un gazogène à contre-courant (TR), c'est-à-dire dans lequel le courant de gaz est inverse de celui du combustible.

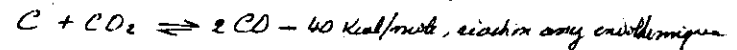
Deuxièmement, le gazogène est rempli par le haut et l'air passe de bas en haut, entraînant avec le gaz formé vers le haut.

Troisièmement, la base du réacteur, à l'entrée d'air, de recipient qui recueille les cendres et les imbrûlés résiduels.

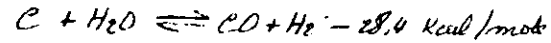
Quatrièmement, la partie la plus haute, dite de combustion ou d'oxydation. L'oxygène de l'air y réagit avec le matériau carboné à des températures de l'ordre de 800 à 1500°C. Pendant la période

exothermique : $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 95 \text{ Kcal/mole}$, réaction nettement

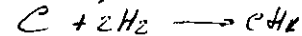
IX
Sur le "charbon de bois" nous formé et porté au rouge se superpose une zone dite de réduction, où plusieurs réactions ont lieu, la principale étant :



Avec la vapeur d'eau résiduelle se produit une autre réaction endothermique :



ce qui peut amener la formation de méthane par la réaction



- Au-dessus de la zone de réduction, entre 375 et 600°C, se situe la zone dite de pyrolyse, zone où l'on assiste surtout au séchage des matières volatiles et les goudrons, lesquels sont crachés lors de la descente des matériaux dans la zone la plus chaude.

- Enfin, au-dessus de la zone de pyrolyse se situe la première zone dite de séchage, qui élimine la plus grande partie de l'humidité initiale de la biomasse.

La composition du gaz sortant est approximativement la suivante, à l'exception :

CO	25 %
H ₂	15 %
CH ₄	2 %
CO ₂	1 %
N ₂	45 %

et il faut ajouter au goudron et des poussières de carbone.

On estime que 1 kg de biomasse donne 2 m³ de gaz gazeux ou 2245 kcal. On caractérise aussi le gaz, qui détermine à l'entrée le bilan d'azote, on arrive à un gaz moyen qui donne 2500 kcal par kg de biomasse.

Comme je l'ai dit tout à l'heure, il existe un grand nombre de types de gazogènes, mais nous n'en retenirons que les 3 principaux, à savoir :

- celui que nous venons de décrire brièvement et qui est dit à contre-courant ou à courant ascendant ;
- le gazogène à co-courant, qui est en fait dérivé de la façon suivante (T13) et dont la zone de réduction se situe entre la grille et la zone d'oxydation, le gaz formé sortant par le bas ;
- enfin, le gazogène à lit fluide que je n'ai plus à vous présenter, la biomasse granulométrique est introduite à la base du réacteur, le gaz sortant par le sommet.

14) Le schéma suivant (T14) donne, pour ces deux types de gazogènes, la distribution des températures à l'intérieur du réacteur.

- Nous avons déjà vu que le gazogène à contre-courant ;
- celui du gazogène à co-courant se caractérise par une unique montée de température à l'entrée de l'air dans la zone de combustion ;
- enfin, nous le verrons plus tard, le principe même du lit fluide veut que la température de l'ensemble du réacteur soit très homogène.

Comme on le voit encore, à chaque type de gazogène correspondent des caractéristiques optiques de la présentation de la biomasse :

grandeur de 2 à 50 mm et taux d'humidité de 50% pour le premier, 25 à 300 mm et " de 30% pour le second, 0 à 25 mm et moins de 50% d'humidité pour le troisième.

Couye XI

Document INIEX

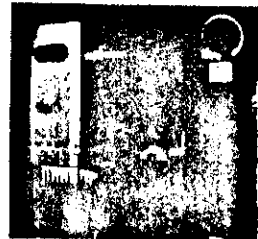
Le premier programme a pour objectif d'offrir aux constructeurs, aux utilisateurs et aux organisations internationales, la possibilité de réaliser la certification des paramètres de fonctionnement des gazogènes.

Le deuxième programme a pour objectif l'amélioration des performances des gazogènes par le recours à des technologies nouvelles pour ce type d'application.

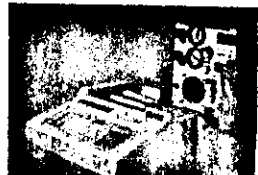
Ces programmes ont conduit à :

la mise au point d'une méthodologie de mesure et de contrôle pour générateur de gaz de faible capacité,

la conception et la réalisation d'un banc



Banc d'essais de gazogène de l'INIEX



Contrôle de la composition des gaz : appareil portable

d'essais pour générateur de gaz à l'INIEX.

la mise au point d'un matériel d'analyses pour le contrôle d'un générateur de gaz chez l'utilisateur.

4.

Le banc d'essais de l'INIEX

Le banc d'essais a été monté dans la station pilote de l'INIEX, de manière à pouvoir réaliser les tests quelles que soient les conditions climatiques.

Un ventilateur-extracteur à débit variable assure le tirage des gaz en régime statique ou dynamique, de manière à reproduire sur le banc d'essais le régime réel de fonctionnement d'un gazogène.

La composition des gaz est enregistrée durant tout l'essai par des analyseurs infrarouges (CO , CH_4 , CO_2), paramagnétiques (O_2) et à conductibilité thermique (H_2). Des analyses complémentaires sont effectuées aux laboratoires de l'INIEX par chromatographie en phase gazeuse.

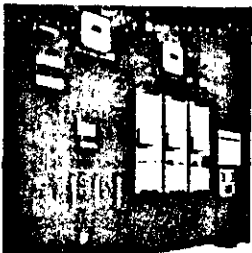
Le débit des gaz produits est mesuré selon la norme européenne en vigueur.

Du débit et de la composition des gaz, on déduit la puissance thermique réelle du générateur de gaz et le pouvoir calorifique des gaz produits.

Après analyse, les gaz sont brûlés dans une torchère spécialement conçue pour fonctionner quels que soient les débits de gaz produits.

Une équipe de chercheurs a en charge l'examen de la quantité et de la composition des goudrons produits par le générateur de gaz.

Une analyse immédiate et élémentaire du combustible est réalisée ainsi qu'une analyse de la teneur des cendres



Contrôle de la composition des gaz à la Station d'Essais de l'INIEX

produites, de manière à pouvoir établir le bilan de gazéification et fournir le rendement thermique du générateur de gaz.

Tel qu'il est conçu, le banc d'essais de l'INIEX permet de tester la sensibilité du fonctionnement du générateur de gaz aux fluctuations de charge ou de composition du combustible.

Enfin, à plus haute température encore, on assiste à une décomposition de t en présence du résidu solide, qui perd de t en t 2 pyrogène et 2 oxygène et dont la masse diminue de moitié tout en s'enrichissant en carbone.

Le jeu pyrolytique de la t -phar pourrait être transformé en pyrolyse par polymérisation, ou en essence ou en alcool par fermentation.

Le réacteur actuel s'orienterait surtout vers la pyrolyse-fluor (fluorant solide à haute température : 1000°), qui améliorerait le rendement en gaz et son pouvoir calorifique et éviterait, par craquage, la production de goudrons.

sur la pyrolyse.

Avant de clore ce chapitre, je voudrais couvrir vos yeux d'un quelconque mot au sujet d'une recherche entreprise depuis 5 ans par notre Institut, avec des financements du gouvernement belge. Il s'agit de la pyrolyse du charbon avec premier d'hydrogène, autrement dit de l'hydrogénépyrolyse.

Cette recherche a pour point de départ des travaux de recherche fondamentaux effectués dans les laboratoires des professeurs Gynin, à l'Université Libre de Bruxelles dans le but d'obtenir, par pyrolyse du charbon, une quantité voisine de ce qui est possible, d'hydrogène et de gaz à haute valeur calorifique, utilisables comme source première de l'énergie chimique. Surtout, on cherche à produire, à partir de charbon, un produit chimique, par exemple, un alcool, un résidu solide appelé "char" ou une autre utilisable comme combustible ou susceptible d'être gazéifié.

L'opération la plus intéressante, sur résidu solide appelé "char" ou une autre utilisable comme combustible ou susceptible d'être gazéifié.

Sur la base des résultats obtenus à Bruxelles, nous nous sommes installés dans une installation pilote d'une capacité de traitement de 100 kg/heure, nous permettant d'atteindre jusqu'à 1000°C avec une pression d'hydrogène pouvant atteindre 30 bar.

Voici (D41) une vue générale de l'installation, qui ressemble à une petite usine.

Voici (D42) le schéma de l'installation, qui est maintenant tout à fait opérationnelle et dont les premiers tests ont été satisfaisants, notamment en ce qui concerne les produits liquides obtenus.

Comme on le voit (D43) le réacteur est basé sur le principe des lits fluidisés, ou plus exactement d'un lit d'hydrogène et d'un lit de charbon.

L'hydrogène est d'un type très particulier (D44) à viscosité élevée, utilisable comme hydrogène métallurgique.

Il n'est pas impossible que l'hydrogénépyrolyse, longue elle sera bien au point, puisse être aussi utilisée pour la valorisation de la biomasse, car plusieurs recherches, à l'échelle des laboratoires, sont poursuivies dans ce domaine, sur la liquéfaction thermochimique directe de la biomasse, en conditions d'hydrogénépyrolyse.

Avant d'espérer que, jusqu'à maintenant, le côté de la pyrolyse est bien connu, c'est la vision par laquelle les recherches ont surtout porté sur les combustibles et la gazéification nettement moins onéreuse mais l'hydrogénépyrolyse, elle qui nous a permis de produire purement et simplement d'hydrogène et de charbon et c'est pourquoi nous en espérons beaucoup.

Ils peuvent être utilisés, notamment, comme additifs dans les combustibles liquides ou comme matière première pour la fabrication de polymères, de colorants, d'arômes, etc.

C'est pourquoi, nous situons les filières thermo-chimiques et leurs ramifications dans l'ensemble des filières techniques de conversion de la biomasse.

1) Le schéma suivant (T21) nous rappelle quelles sont ces filières.

2) Le dernier schéma (T22) nous permet, enfin, de comparer les rendements des différents procédés.

~~Il nous permet de voir que les rendements sont très faibles.~~

TABLE 3 : PER CAPITA PASSENGER MOVEMENT (km/capita/year)

	1955	1960	1970	1975	1977
U.S.A.		11050	14520	16320	
	(7300)	(10130)	(13160)	(15500)	(16600)
France		2970	6870	8750	
		(1670)	(5400)	(6900)	(7900)
F.R. Germany		4550	7500	8430	8850
		(2920)	(5780)	(6560)	(7000)
U.K.	4020	4870	7210	8000	8220
	(1705)	(2740)	(5510)	(6380)	(6640)
Italy	1880	2450	5750	6620	
	(820)	(1190)	(3950)	(5000)	(5100)
Japan		3840*	5560	6250	
		(400)*	(1730)	(2200)	(2330)
Netherlands		3050	7080	8970	
		(1380)	(5630)	(7530)	

* 1965

Figures in brackets: per capita movement with private cars.

Source: B. Chateau, B. Lapillonnie, op. cit.

Tableau 3 : Estimation de la consommation d'énergie commerciale totale et en agriculture 1972/73 en Europe occidentale

région	consommation en Mtep*)		pourcentage	consommation en Mtep*)	
	totale	agricole		par tête	par actif agricole
Pays développés	3242,7	110,8	3,5	4,4	2,6
Amérique du Nord	1838,7	51,1	2,8	8,0	13,3
Europe occidentale	1025,6	50,5	4,9	2,8	2,0
Océanie	58,5	3,3	5,6	3,7	5,9
Autres pays dev.	320	5,8	1,8	2,4	0,5
Pays en voie de développement	441,7	21,9	4,8	0,5	0,05
Afrique	37,5	1,6	4,5	0,1	0,02
Amérique latine	194,7	7,4	3,8	0,7	0,21
Proche Orient	63	4	6,4	0,6	0,11
Extrême Orient	166,4	8,8	5,3	0,1	0,03
Pays à économie planifiée	1531,7	48,9	3,2	1,3	0,2
Monde	5236,1	181,8	3,5	1,4	0,24

*) MTEP = Millions de TEP

Source : F.A.O., The state of food and agriculture, 1976, Rome 1977

Table 1: Fuelwood Consumption and per capita income

	Wood as % of total energy consumption	Quantity of wood per head	Proportion of population in rural areas	GNP per head \$ 1978
Angola	74	1.0	79	300
Benin	86	0.6-2.3	86	230
Burundi	89	0.2	98	140
Cameroon	82	0.96	65	460
Cent. African Empire	91	0.8	59	250
Chad	94	0.8	82	140
-Chile	13.3	-	29	1410
-El Salvador	37	-	59	660
Ethiopia	93	0.8	85	120
Guinea	74	1.0	64	390
Guinea	74	0.6	81	210
-Honduras	45	-	64	480
-India	34	-	78	180
Ivory Coast	46	0.7	62	840
Kenya	74	0.6-1.5	86	330
Liberia	53	0.7-1.5	67	460
Madagascar	80	0.6	82	250
Malawi	-	0.6	91	180
-Malaysia	8	-	71	1090
Mali	97	2.1	80	120
Morocco	19	0.2	59	670
-Nicaragua	74	0.9	91	140
Niger	25	-	47	840
Nigeria	87	0.5	87	220
-Papua New Guinea	82	1.0	80	560
Rwanda	39	-	83	180
Senegal	96	0.9	96	180
Sierra Leone	63	0.5	75	340
Somalia	76	0.8	75	210
-Sri Lanka	90	1.0	70	130
Sudan	54	-	73	190
Tanzania	81	1.2	75	230
Tunisia	94	1.4-2.3	88	230
Upper Volta	42	0.2	88	960
Zambia	94	0.5	91	180
Zimbabwe	35	0.8	62	480
	28	0.8	77	480

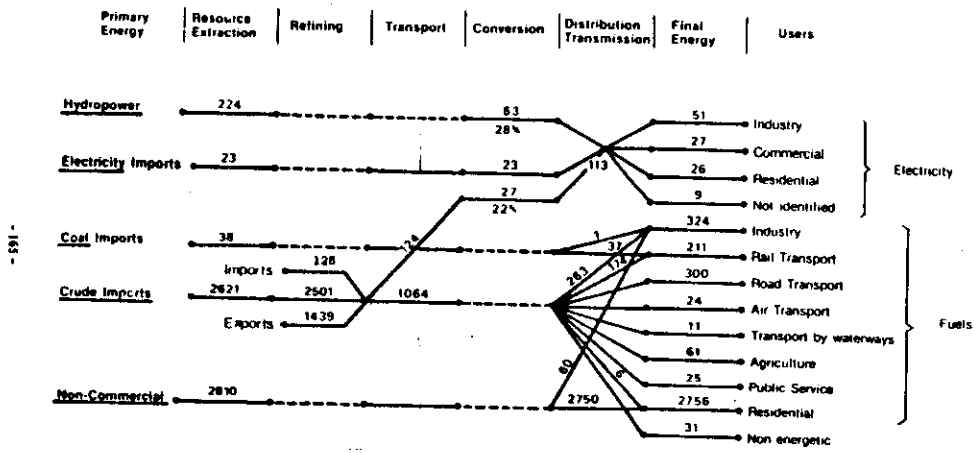


Fig. 4. Energy Flow Diagram of Kenya, 1977 (Flows in 10^3 toe/y)

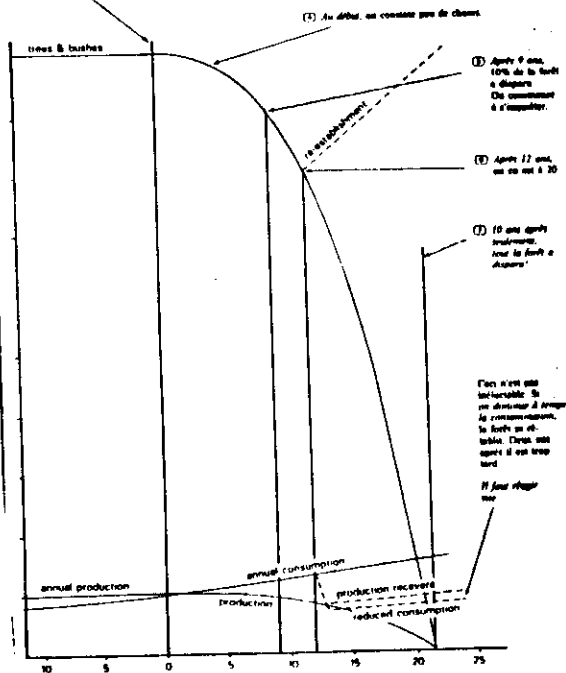
Table 2: Energy Flow Diagram of Kenya, 1977 (Flows in 10^3 toe/y)

Source	A	B	C	D
Allemagne fédérale	6,5	22,4	2,4	2,9
Belgique et Luxembourg	1,0	2,3	0,5	0,1
Bourgeois	2,7	0,4	0,3	0,1
Danemark	0,1	0,3	0,5	1,1
France	5,1	2,2	3,7	1,5
Grèce	0,8	-	2,2	-
Irlande	0,0	2,8	3,5	-
Italie	0,0	0,8	13,8	6,1
Pays-Bas	0,0	0,1	3,7	1,0
Royaume-Uni	0,0	1,5	16,8	2,2
EUR - 10	6,5	42,7	53,7	12,1
Espagne	2,7	1,2	12,4	1,8
Portugal	0,0	0,5	0,6	0,1
EUR - 12	6,5	46,0	62,9	13,9
Source	6,5	46,0	62,9	13,9

Tableau 2 : Potentiel énergétique brut des principaux résidus théoriquement disponibles

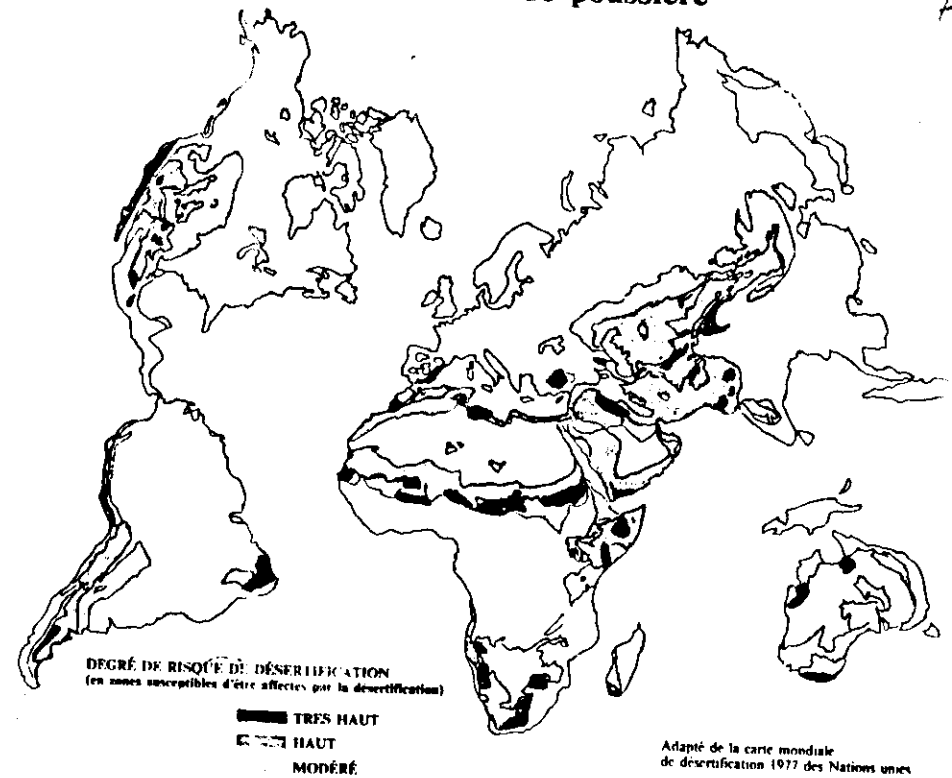
Tableau II — Courbe de disponibilité en bois
La séousse inattendue — ou comment la forêt disparaît
Passé un certain stade, il est presque impossible d'arrêter le déboisement

- (1) Depuis des siècles, des habitats d'une rigueur s'approprient en bois auprès de leur forêt locale.
 (2) Cependant, la population augmente, et on consomme plus de bois (+1% par an).
 (3) Un jour, la consommation de bois devient égale à la production naturelle.
 A partir de cette date, si on ne consomme en plus se fait une déforestation permanente.



Source : « Energie dans la stratégie de développement du Sahel, situation et perspectives », CILSS/Club du Sahel, 1978.

Une moisson de poussière

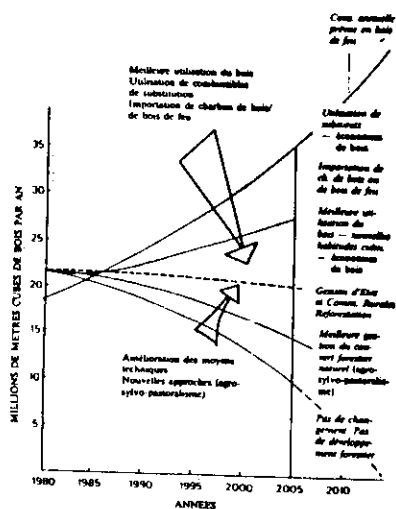


Adapté de la carte mondiale de désertification 1977 des Nations unies

Deficit en bois au Sahel: contributions et mesures à apporter pour répondre au déficit en 2005 (*)

DEFICIT EN BOIS PREVU AU SAHEL
Contributions et mesures à apporter
pour répondre au déficit en 2005

**TABLEAU DU DEFICIT EN BOIS
PREVU AU SAHEL**
Principales données de base et hypothèses



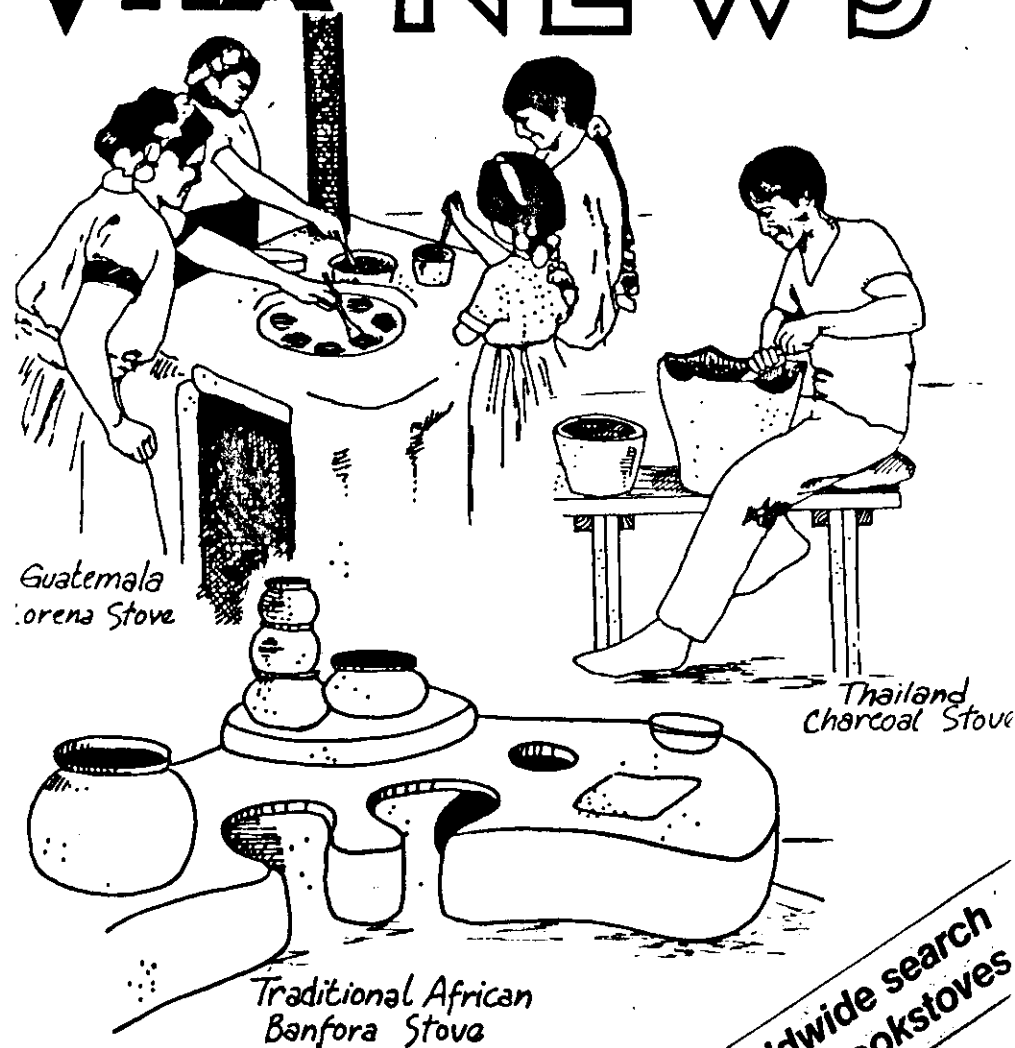
(Graphique de Jean GORSE)

(*) Source: M. Jean Gorse, Banque Mondiale.

Pays	Mali, Niger, Sénégal, Gambie, Haute-Volta
Superficie totale	2 989 000 km ²
Population totale	25 200 000 en 1981 (rapport BIRD, IDS)
Croissance démographique	2,5% par an
Consommation de bois	0,75 m ³ par personne et par an
Surface cultivée	124 000 km ² en 1970 (rapport FAO, 1980)
Extension de la surface cultivée	1,8% par an
Couvert forestier naturel:	
• Surface en 1981	700 000 km ² (rapports ORGATEC et CILSS, OCDE, 1981)
• Volume	1 000 m ³ par km ²
• Croissance naturelle	30 m ³ par km ²
• Surexploitation	1% du couvert forestier détruit chaque année (1)
• Gestion améliorée	devrait permettre d'économiser, sur 25 ans, 50% du couvert forestier détruit par surexploitation
Reforestation:	
• par l'Etat	500 000 ha sur 25 ans (soit 7 m ³ par ha et par an)
• par les communautés rurales	1 000 000 ha sur 25 ans (soit 3,5 m ³ par ha et par an) y compris les zones soudanienne et soudano-guinéenne Cycle d'abattage: 5 ans Vie de la plantation: 20 ans
Meilleure utilisation du bois	Economie d'environ 5% sur la consommation de bois prévue pour 1980
Nouvelles habitudes culinaires	Economie d'environ 10% sur la consommation de bois prévue pour 1995 Economie d'environ 15% sur la consommation de bois prévue pour l'an 2000
Utilisation de combustibles de substitution	Economie d'environ 20% sur la consommation prévue pour 2005

(1) 25% du bois provenant de forêts détruites par surexploitation sont utilisés comme combustible.

VITA NEWS



The worldwide search
for better cookstoves

October 198

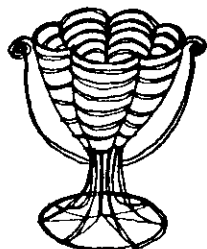


Figure 1. The wire stove.

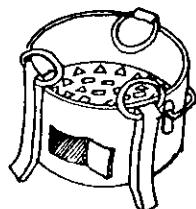


Figure 2.

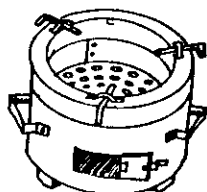


Figure 3. The Kanun et Jadid.



Figure 4. Metalworkers making the Kanun et Jadid in the market.

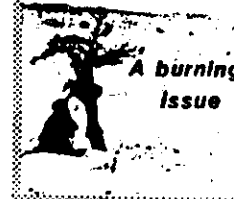


La construction de fours a créé des emplois pour des femmes et des hommes de cette campagne kenyane

Promoting new stove models

Developing better stove designs is only the first step towards convincing millions of people to use them. Governments and community groups worldwide are using a variety of techniques to promote improved stove models. Here is a look at six efforts.

Cookstoves



West Africa Product quality



Some stove programs fail because the new stoves prove inefficient. Dr. Tim Wood of VITA tests stoves to identify the best models. Wood works with CILSS.

Upper Volta Involving women



Women must be part of any successful stove program. Sociologist Jacqueline Ki-Zerbo of CILSS organized this training session in Ouagadougou, Upper Volta.

Sri Lanka Integrated plan



The Sarvodaya Movement in Sri Lanka has had success combining stove testing and promotion with its broader village development program.

Thailand Stove marketing



The inexpensive Thai bucket stove uses flattened Coca-Cola cans to reinforce the bucket and reduce costs. The colorful metal also attracts buyers.

Guatemala Training

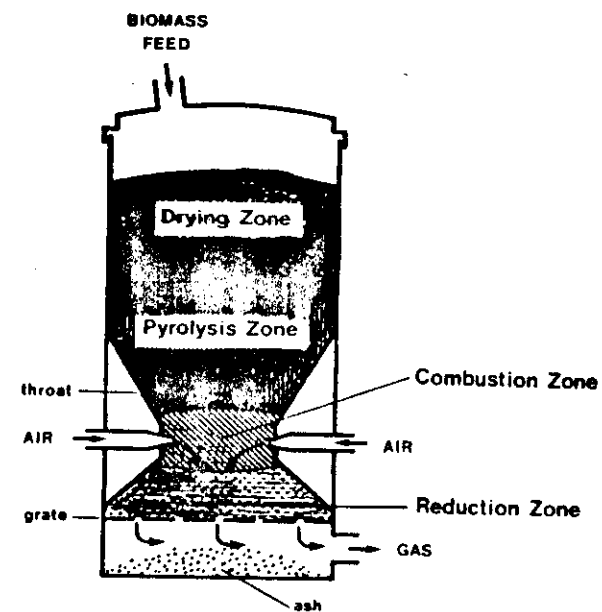
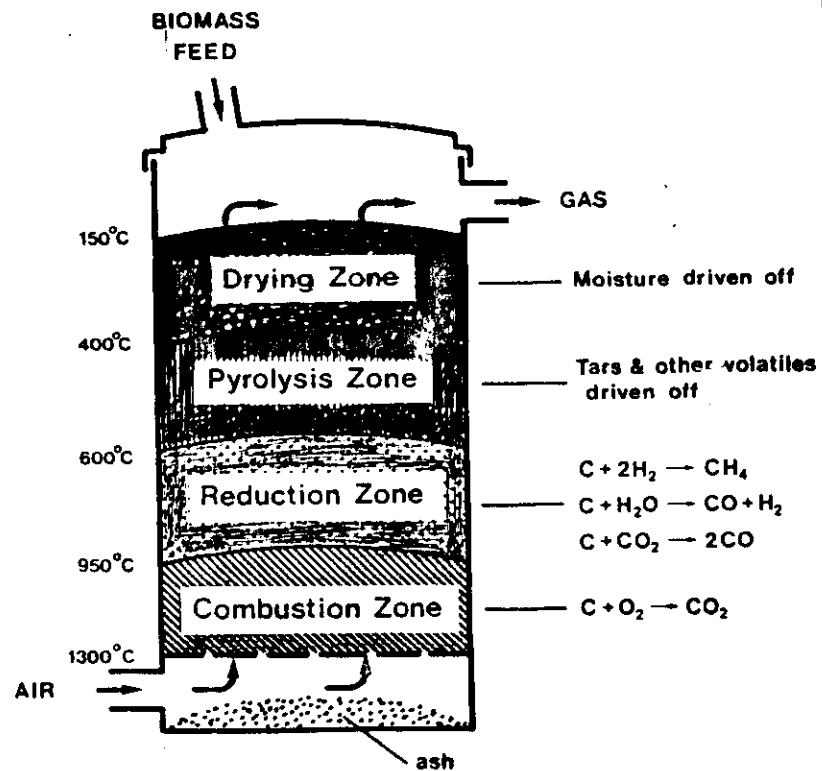


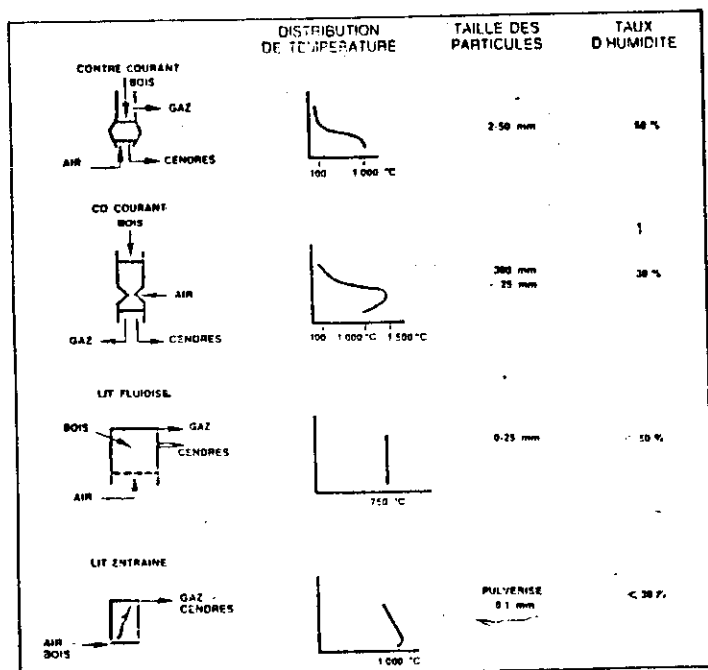
The Choqui cooperative has prepared simple filmstrips to teach people how to make and use improved stoves. VITA helped finance the effort.

Senegal Public campaign

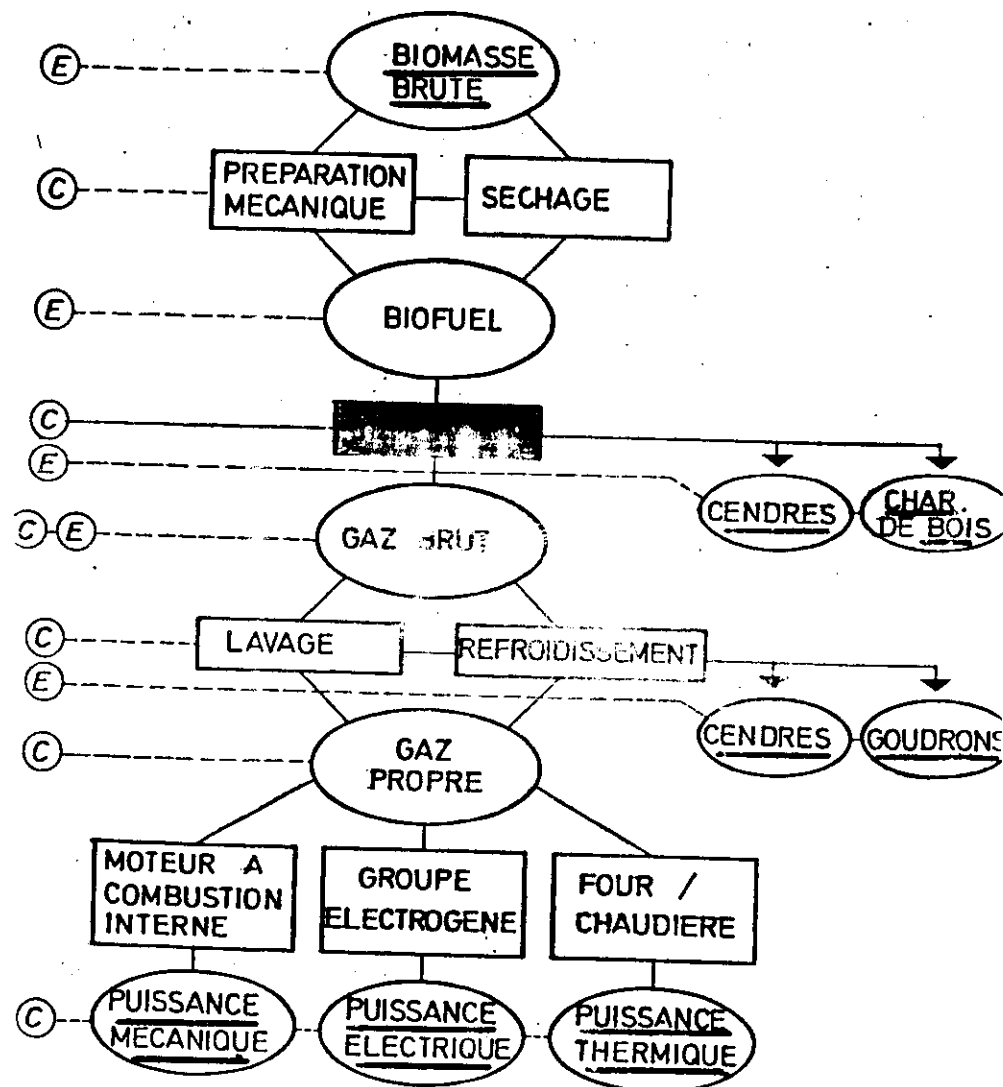


The Government of Senegal has put signs on buses to remind citizens to conserve wood and charcoal. This sign warns that the desert is approaching.





GAZEIFICATION DE LA BIOMASSE



- = Prise d'échantillon pour analyse labo.
- = Mesure en continu

Tableau 3

Comparaison des analyses de cinq biomasses

	Bois chêne	Papyrus	Parche de café I	Parche de café II	Balle de riz
Ce %	1,28	4,29	23,72	6,68	15,5
MV %	83,00	75,46	52,2	67,64	-
C fixe	15,72	20,25	23,88	25,68	-
C %	48,58	49,05	37,15	48,26	38,5
O %	43,57	40,9	33,96	37,47	39,8
H %	6,19	5,24	4,11	5,84	5,7
N %	0,38	0,52	1,05	1,75	0,5
PCs kJ/kg	-	17.940	15.415	-	-
PCi kJ/kg	17.870	16.860	14.415	14.435	-

(Teneurs rapportées aux échantillons secs)

Cs : cendres
 MV : matières volatiles
 C fixe : carbone fixe
 PCs : pouvoir calorifique supérieur
 PCi : pouvoir calorifique inférieur

(Source : INIEX : AD 652, AD 746 II, AD 651, AD 723, AD 663; Tillman : 1978)

Tableau 4

Fusibilité des cendres du papyrus

(températures exprimées en degrés Celsius)

	Atmosphère oxydante		Atmosphère réductrice	
	Echan- tillon 1	Echan- tillon 2	Echan- tillon 1	Echan- tillon 2
Frittage	795	720	800	700
Déformation	850	800	860	780
Hémisphère	1.065	945	1.060	960
Ecoulement	1.215	1.150	1.400	1.290

(Source : INIEX AD 878 et AD 879)

Schéma 3 : Presse à piston SERMIE

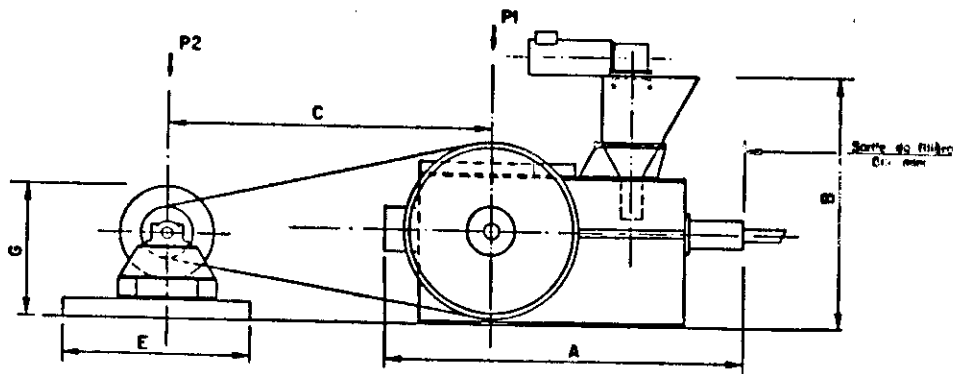
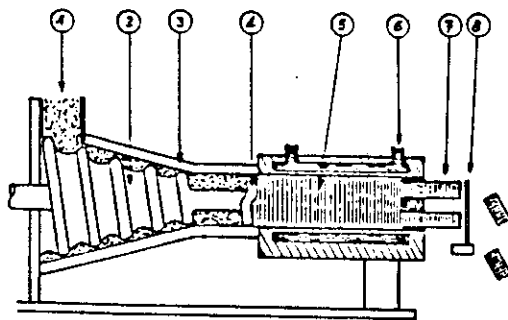


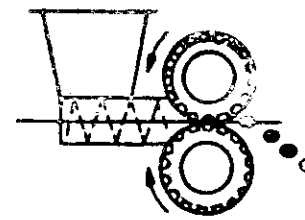
Schéma 4 : Machine à densifier - Type BIOLOG 1



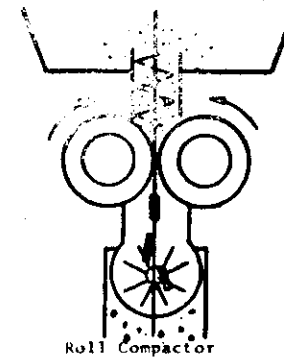
- 1 Alimentation en biomasse
- 2 Vis de densification
- 3 Chambre de densification
- 4 Tête de poussée
- 5 Matrice d'extrusion
- 6 Réfrigérant (eau)
- 7 Combustible densifié
- 8 Appareil de coupe des combustibles densifiés aux longueurs désirées

Procédé : ZIMMER DEBAIFFE

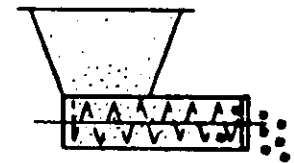
Développé par : SFT Gembloux (Belgique)



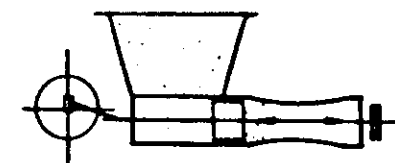
Roll Briquetter



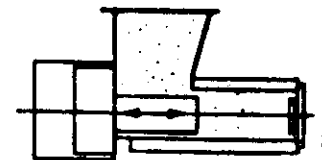
Roll Compactor



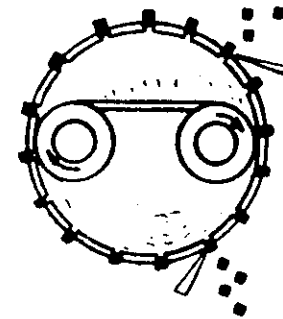
Screw Extruder



Eccentric Piston Extruder



Hydraulic Piston Briquetter



Ring Extruder

Figure 2 Compaction Agglomerators

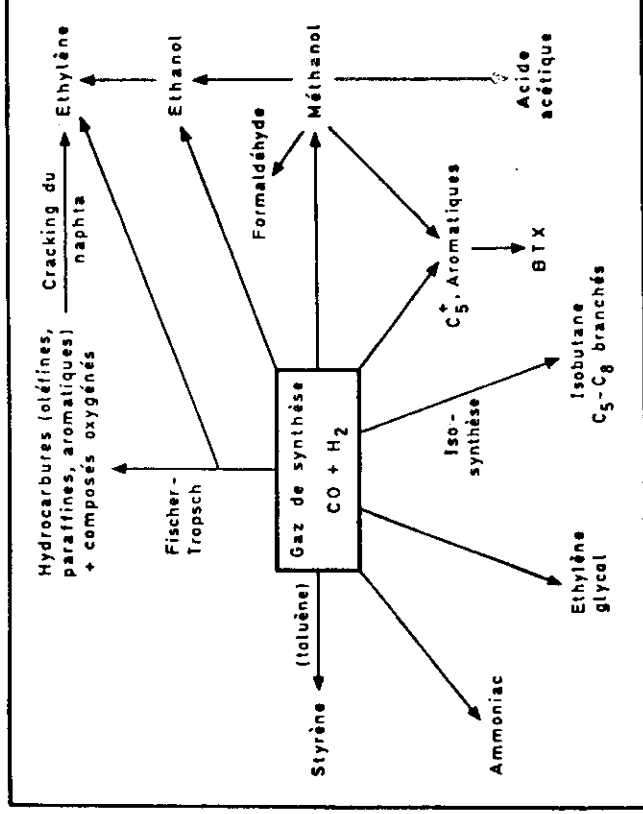
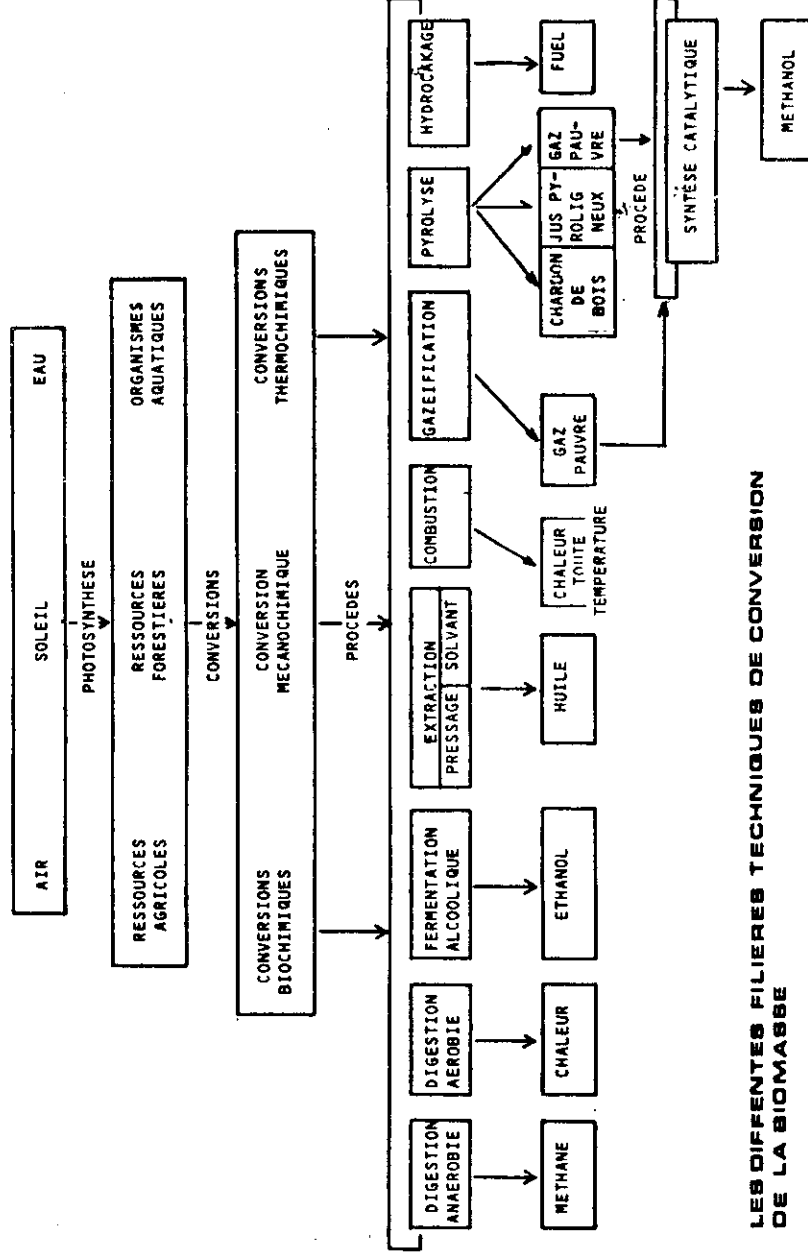


TABLEAU 11: Produits chimiques à partir du gaz de synthèse.[6]



LES DIFFERENTES FILIERES TECHNIQUES DE CONVERSION DE LA BIOMASSE

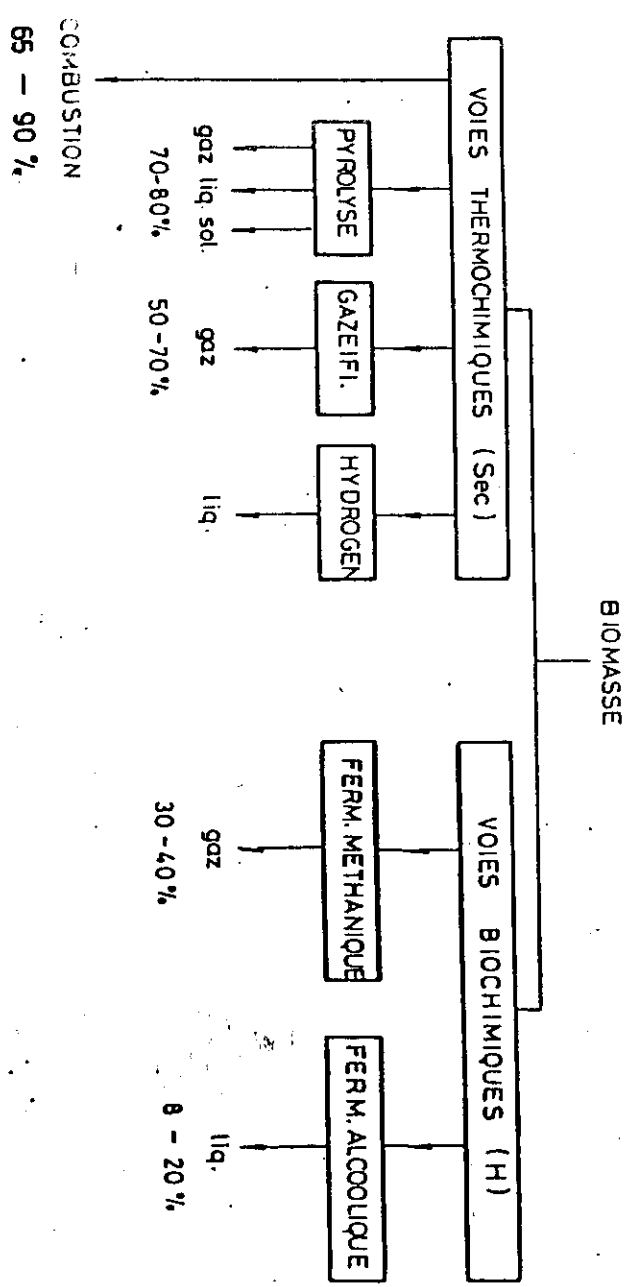


Fig. 2 : FILIERES DE CONVERSION DE LA BIOMASSE

