



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



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS  
34100 TRIESTE (ITALY) - P.O. B. 586 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2340-1  
CABLE: CENTRATOM - TELEX 490892-1

H4.SMR/193 -24

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

BOIS DE FEU, TRANSFORMATION ET UTILISATION  
CAS DU MAROC

ZIAD M.  
Direction des Eaux et Forêts  
Rabat, Maroc

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

RESUME

La biomasse forestière, annuellement produite, est estimée à 59 milliards de tonnes. Aujourd'hui encore, une grande partie du volume de bois exploité par an est utilisé à des fins énergétiques surtout par combustion directe ou par carbonisation.

La disponibilité de la matière première par le passé et la simplicité des techniques employés par les populations ont soustrait ces procédés à l'analyse scientifique dans les pays en développement.

Les foyers simples ou les meules forestière n'échappent en rien aux lois de la physique, leur étude contribuera à l'amélioration de leurs rendements et à la réduction de la consommation surtout dans les régions celle-ci dépasse le disponible.

Au Maroc, le bois de feu est un produit prélevé directement par les populations rurales à plus de 90%. La consommation totale est estimée à 10,6 millions m<sup>3</sup> par an. Environ 30% du bilan énergétique est couvert par la biomasse laquelle constitue le premier combustible domestique.

L'apport des connaissances physiques et mathématiques sera une meilleure appréhension des phénomènes de transformations et une évaluation précise des quantités disponibles.

Introduction

Partie I:

I-Formation de la matière biomasse.....	3
I-1.Assimilation par les végétaux.....	5
I-2.Assimilation par les animaux.....	7
I-3.Schéma des interactions.....	7
II-La biomasse végétale.....	8

Partie II:

I-La transformation du bois en énergie.....	11
I-1. La combustion.....	11
I-2. La décomposition thermique.....	14
I-3. Les autres modes de transformations.....	17
II-Les utilisations du bois de feu au Maroc.....	19
II-1.Combustion directe.....	19
II-2.Carbonisation.....	21
II-3.Modes d'amélioration.....	23
III-Impact du bois de feu sur le couvert végétal.....	24
III-1.Les disponibilités.....	24
III-2.Les modes de ramassage.....	26
III-3.Consommation de bois de feu.....	27
IV-Conditions socio-économiques.....	34
IV-Rôle du bois de feu dans la société marocaine.....	34
IV-Importance économique du bois de feu.....	35

Apport des connaissances physiques et mathématiques.....	38
--	----

PARTIE I

I\_- FORMATION DE LA MATIERE BIOMASSIQUE :

Dans notre écosystème basé sur une complémentarité et une symbiose, assise de l'harmonie assurant la perennité de ce système, les divers acteurs remplissent leur fonction en puisant dans ce système les éléments de leur survie et en y déversant d'autres éléments nécessaires à d'autres partenaires.

L'énergie est l'élément essentiel pour tout système et pour toute vie, elle est nécessaire à la production et/ou à la transformation d'éléments plus ou moins complexes.

La source d'énergie primaire, catalyseur de toute vie sur Terre est : L'énergie solaire ( fig. 1 )

Introduction :

Le bois de feu a constitué le combustible principal jusqu'à l'avènement des combustibles fossiles (charbon et pétrole) Mais dans les pays en développement ceci n'a pas réduit de son importance essentiellement en consommation domestique.

Les méthodes de transformation de la biomasse en énergie n'ont pas évoluées et ne répondent plus aux conditions de raréfaction de la matière première et aux situations critiques ou de crise des approvisionnements.

Aussi il est nécessaire d'étudier les habitudes et les conditions d'utilisation du bois ,et d'analyser les processus de combustion et de carbonisation ou tout autre procédé employé.

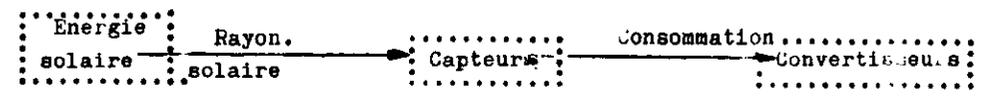


Fig. 1 - Schéma d'utilisation de l'énergie solaire.

- Les êtres vivants sont classés relativement à la source, en :
- Des individus indispensables : les capteurs d'énergie.
  - Des individus utiles : les convertisseurs.

De là s'impose le fait que toute vie sur Terre est liée à l'énergie des photons fournis par les rayons solaires ( fig. 2). La vie biologique se résume alors à une suite d'étapes d'accumulations et de conversions de l'énergie, "système stable de conversion et de production d'énergie en parfaite accord avec les lois de la physique."

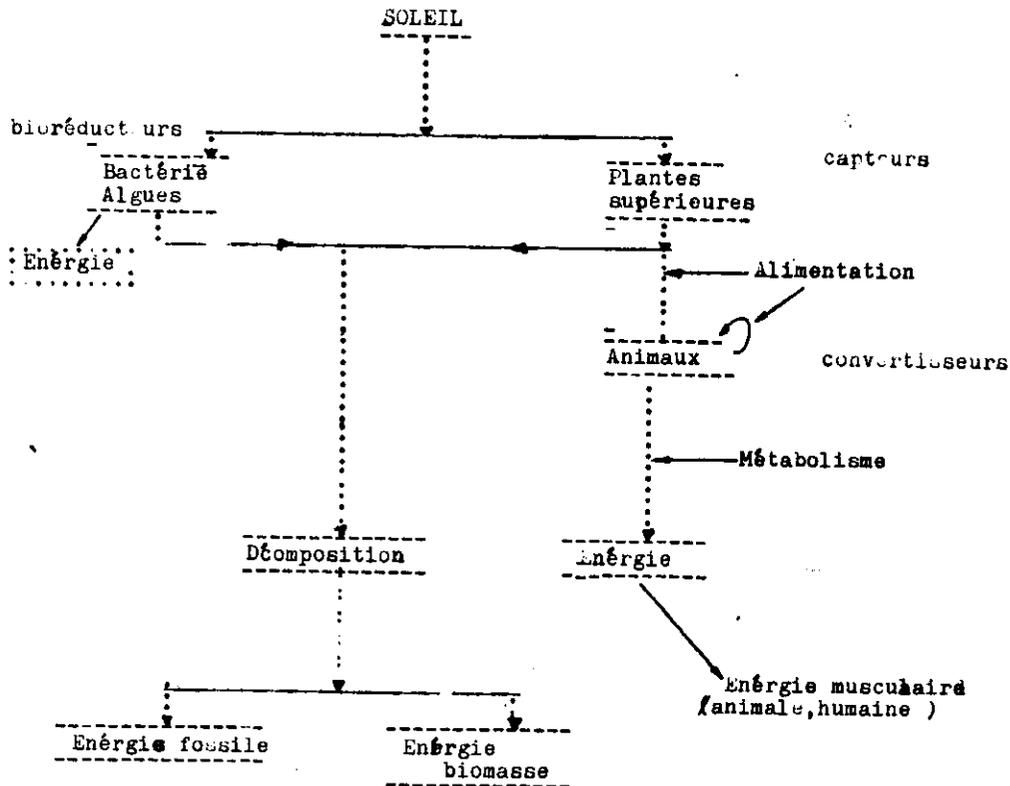


Fig. 2- Schéma général de la production d'énergie.

La série d'interactions entre diverses parties, est basée sur des transferts d'énergie, suivant le schéma général :

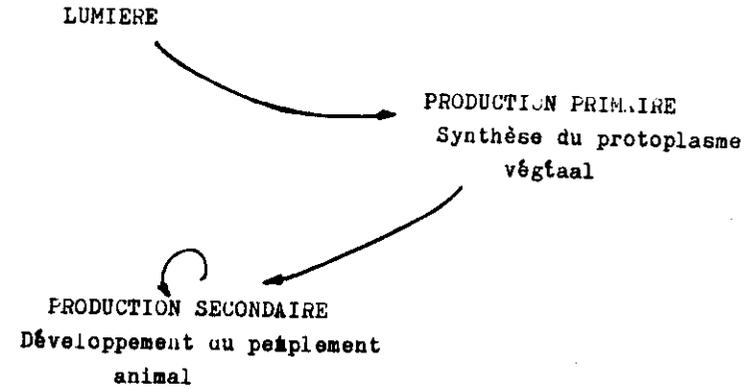


Fig. 3- Stades des conversions énergétiques.

Deux niveaux de transfert d'énergie, en cascade sont à distinguer :  
- L'assimilation d'énergie par les végétaux chlorophylliens,  
- L'assimilation d'énergie par les animaux.

I-1. Assimilation par les végétaux chlorophylliens :

Est le début de la chaîne des interactions, prenant le départ au niveau du rayonnement solaire incident et aboutissant à une production primaire biomassique à travers un noeud : la PHOTOSYNTHESE.

La photosynthèse est une "transformation de l'énergie des photons en énergie chimique somme de l'énergie des nouvelles liaisons formées au cours de l'assimilation du CO<sub>2</sub>."

Une partie seulement de l'énergie solaire intervient dans la

photosynthèse ( fig. 4). La lumière totale considérée comme la totalité des rayons lumineux ayant traversé les diverses couches de l'atmosphère , a une valeur énergétique estimée à  $56.10^{23}$  Joules/an, dont 60 % est de la lumière non utilisée.

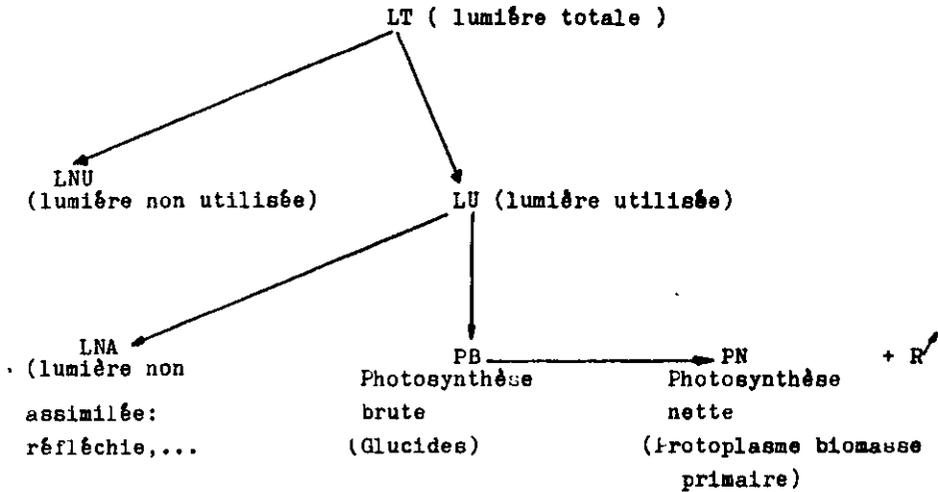
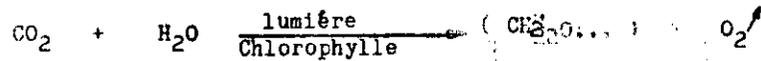


Fig. 4 - Schéma d'utilisation de la lumière par les végétaux.

Les autres composés intervenant dans la conversion sont le gaz carbonique et l'eau, lesquels sont considérés des composés pauvres énergiquement et seront enrichis en présence de l'énergie solaire par la réaction :



Réaction chimique de l'assimilation de l'énergie par les végétaux chlorophylliens.

I-2. Assimilation par les animaux :

C'est à ce niveau qu'a lieu la production secondaire, conversion de la production primaire, moyennant une énergie chimique. Le schéma général de cette assimilation est pratiquement identique à celui de l'assimilation par les végétaux quand on ne tient compte que de l'énergie utilisable :

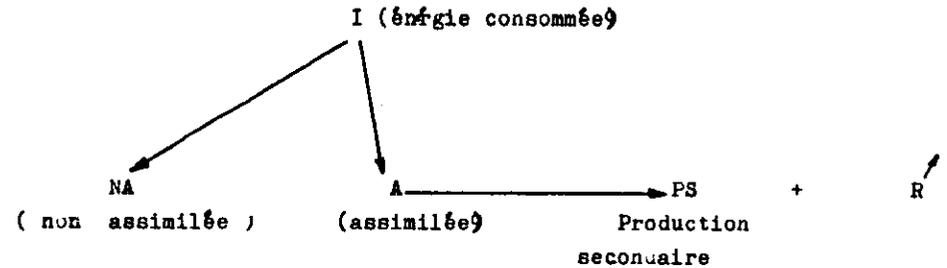


Fig. 5 Assimilation par les animaux .

I-3. Schéma des interactions :

Les divers flux cités ci-dessus se trouvent dans la vie formant une chaîne d'interactions ( fig. 6). Pour la présente étude se limitant à la biomasse végétale, seule la production primaire résultat de l'assimilation secondaire sera tenue en compte.

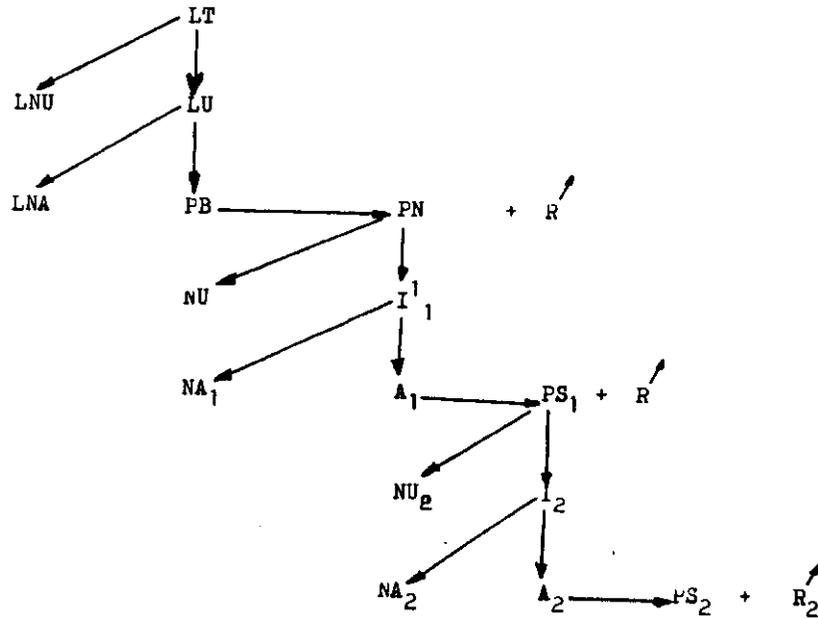


Fig. 6- Les interactions.

II - LA BIOMASSE VEGETALE :

La biomasse est définie comme étant une "masse d'organisme vivant, d'individus formant une population, de populations formant une communauté, à un moment déterminé". Elle est exprimée en g, kg, t de matière sèche, ou en contenu d'énergie (Kcal, J, ...) toujours rapportée à une surface en écologie terrestre. Dans le domaine de l'énergie, le terme biomasse couvre toutes les sources renouvelables dont la composition est à base de matière organique:

bois, déchets, ... et les divers procédés de production d'énergie à partir de ces sources.

Au niveau du globe, le rayonnement solaire reçu est de l'ordre de  $610 \cdot 10^{19}$  kcal/an, dont  $72 \cdot 10^{19}$  Kcal/an sont fixés (tab.1), soit 11,8% du rayonnement total. Cette fixation est répartie entre les milieux marins:  $26,3 \cdot 10^{19}$  kcal/an et les milieux continentaux:  $4,5 \cdot 10^{19}$  Kcal/an.

En productivité nette de la biomasse produite sur la Terre est de  $140 \cdot 10^{19}$  t/an de matière sèche, dont 42% soit 59 milliards de tonnes par an reviennent aux formations forestières (Rowell 1982).

Tab. 1- Fixations totales d'énergie des grands types  
de formations du globe.

	10 <sup>18</sup> Kcal/an	pourcentage	total
<b>Milieux marins:</b>			
Zone pélagique	203,0	28,20%	
Plateau continental	43,0	5,98%	
Algues benthiques et estuaires	17,0	2,37%	
Sous-total <sub>1</sub>			263,0
<b>Milieux continentaux:</b>			
Lacs et cours d'eau	3,6	0,50%	
Marais, formations sub-aquatiques	25,0	3,48%	
Déserts de sécheresse et de froid	0,3	0,04%	
Sémi-déserts à arbrisseaux	7,0	0,97%	
Toundras circumpolaires et alpines	4,8	0,67%	
Prairies et steppes tempérées	21,0	2,92%	
Savanes tropicales sèches	54,0	7,51%	
Formations arbustives	29,0	4,04%	
Forêt boréale	30,0	4,17%	
Forêts tempérées caducifoliées et sempervirentes	36,0	4,79%	
Forêts tropicales pluvieuses et moussons	187,0	26,02%	
Cultures	38,0	5,29%	
Sous-total <sub>2</sub>			455,7
TOTAL		100,0%	718,7

Source : Lieth et Whittaker 1975

## PARTIE II

L'importance du volume de la biomasse forestière produite annuellement, sa répartition à travers la planète et la simplicité de sa transformation en ont fait une source essentielle de services tout au cours de l'histoire de l'humanité: alimentation, matériaux de construction, énergie,...

L'homme a toujours puisé, en totalité ou en partie, ses besoins en énergie de la forêt et actuellement encore des populations entières n'utilisent comme combustible que le bois, ainsi 50% des bois exploités le sont dans des buts de production d'énergie (FAO).

Cette biomasse forestière se compose de deux parties:

- Une partie ligneuse (troncs, grosses branches,...), la plus utilisée pour l'énergie.
  - une partie cellulosique (feuilles, brindilles, écorce, broussaie,...) dont se développe de plus en plus l'utilisation agronomique.
- Le mode de transformation est du même principe pour les deux parties, dans notre document la partie ligneuse sera la plus traitée du fait de son importance en pratique.

### I-La transformation du bois en énergie :

La production d'énergie à partir du bois revient à utiliser l'énergie chimique stockée dans ses divers tissus lors de sa formation.

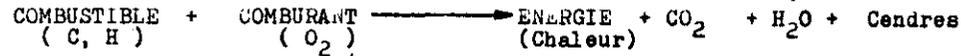
Les quatre grands principes de transformation sont:

- la combustion directe,
- la décomposition thermique,
- la saccharification-fermentation,
- la liquéfaction thermo-chimique.

#### I-1. La combustion directe:

La méthode la plus ancienne et la plus courante, encore de nos jours, pour obtenir l'énergie du bois. Ceci a lieu par une production de chaleur suivie d'un transfert.

Au niveau du matériau, les deux éléments de base pour la combustion sont l'hydrogène et le carbone, suivant un schéma de réaction :



Au cours de la carbonisation le bois se décompose en:

- Un solide : le carbone sous forme de charbon.
- Un aérosol de gaz, de vapeur, de gouttelettes...

La production de chaleur a lieu par combustion des gaz qui se dégagent, ensuite par combustion du carbone. La plus grande partie du pouvoir calorifique est contenue dans les matières volatiles (2/3 à 3/4) qui se libèrent après élévation de la température du bois.

L'air nécessaire à la combustion est en deux composantes:

- l'air primaire: intervenant dans la combustion pour la production des gaz.
  - l'air secondaire : permet d'enflammer les gaz non encore brûlés.
- L'air est soit environnant au feu, soit aspiré par le mouvement ascendant des gaz chauds.

Le matériau bois, dont les performances calorifiques restent pour les différentes essences (environ 4000 Kcal/Kg à 20% d'humidité), influe sur le rendement de la combustion par son taux d'humidité, une partie de l'énergie servant à l'évaporation de l'eau, et par ses dimensions le bois étant un mauvais conducteur l'élévation de la température des zones internes est rendue difficile quand le rapport surface libre/volume du bois, est faible cette difficulté est augmentée par la carbonisation des couches externes.

Après la production de chaleur, celle-ci est transmise au produit à transformer à travers les trois modes de transferts de chaleur : conduction, radiation, et convection.

L'efficacité de la combustion est jugée <sup>en</sup> ~~à~~ ~~travers~~ deux points:

- elle doit être complète,
- l'énergie produite doit être utilisée au maximum.

Le foyer de combustion a une influence capitale pour la réalisation de ces deux objectifs.

Les foyers utilisés en industrie, sont généralement étudiés pour un bon rendement de combustion.:

- les dimensions du foyer doivent permettre de contenir le combustible en quantité importante, procurer de l'espace aux flammes, assurer aux gaz une combustion complète avant d'être refroidis par le contact des surfaces de chauffe.
- les conduites de feu et de fumée doivent permettre un contact intensif gaz-surfaces chauffantes.
- la grille retient le charbon formé et introduit de l'air. Chaque grille a pour caractéristique sa charge normale ou quantité de chaleur produite par m<sup>2</sup> de grille qui sera en proportionnalité avec le tirage.

Quant aux foyers domestiques traditionnels ils sont, en gros, de deux types:

- pour la cuisson de la nourriture des foyers à feux ouverts,
- des foyers protégés pour la cuisson du pain.

De tels systèmes de combustion, ont trois caractéristiques (De Le Peleire et al. 1985):

- la puissance calorifique du lit de combustion
- la température maximale du système
- la localisation du point chaud,

lesquels dépendent du lit de combustion pour les foyers ouverts (surface et épaisseur) et pour les foyers de cuisson du pain du lit de combustion et du matériau de construction

Le transfert de chaleur est différent selon le type du foyer.

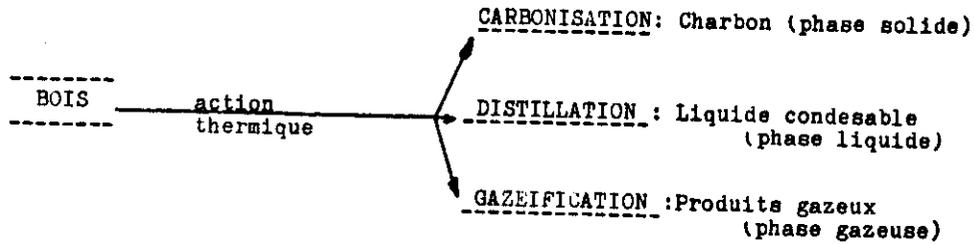
Dans le foyer ouvert le transfert a lieu par convection et par radiation. la convection dépend des parties de la marmite: fond exposé, fond non exposé, et les parois latérales, ces dernières assurent le gros du transfert par cette voie.

Dans le four à pain (cas du Maroc) la conduction intervient en plus des deux autres modes, car le pain est en contact direct avec les matériaux de construction du four.

La combustion directe du bois a à son avantage l'utilisation d'un matériau renouvelable, son caractère non polluant (peu de soufre, pas d'enrichissement de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> par apport de quantités supplémentaires,...), son adaptation aux besoins des populations ru-

rales. Pour inconvénient, il est à citer que le bois est un matériau difficile à transporter, l'humidité du bois pénalise également le rendement, mais c'est surtout au niveau de l'utilisation que le gaspillage est important.

I-2. La décomposition thermique.



Cette décomposition a pour particularité de se dérouler en absence ou en déficit important d'air, et se caractérise en outre par:

- la température finale de réaction
- le gradient de montée de température
- l'appareillage utilisé.

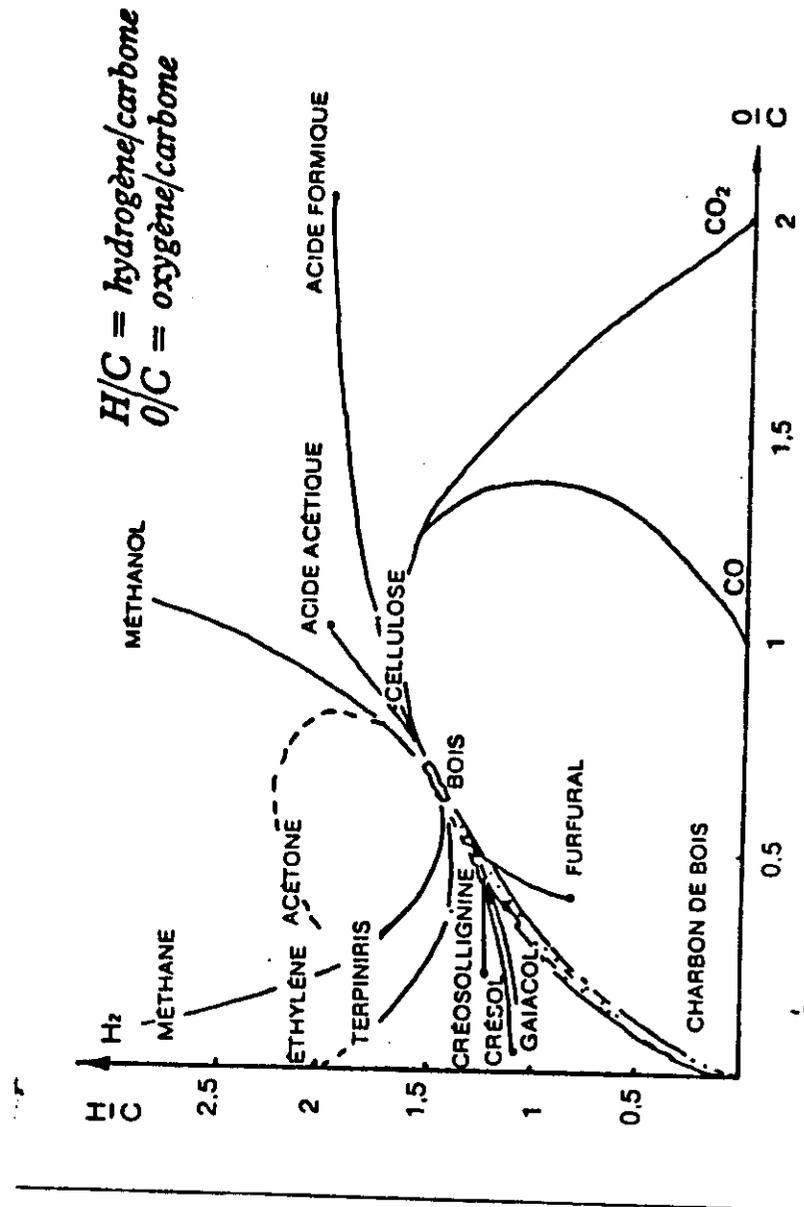
Elle touche tous les constituants du bois, à commencer par les moins stables thermiquement, et fonction des paramètres cités ci-dessus s'obtient un produit principal (ou plusieurs) et des produits secondaires; charbon de bois, gaz volatiles, méthanol, ...

En réalité le bois se décompose par éclatement des différents constituants (fig. 7) suivant les rapports molaires H/C et O/C des produits résultants (Briane et Doat 1980).

La vitesse de réaction différencie la ventilation des produits obtenus. Une réaction lente ne dépasse guère les 400 à 600°C de température et privilégie la production de charbon et de jus pyroligneux, alors qu'une rapide atteint la température de 900°C et aboutit surtout à des gaz.

réaction

Fig.7- Décomposition du bois par éclatement. (Schwab cité par Briane et Doat 1985)



Tab. 2- Produits en fonction de la vitesse.

Produit	Rendement (%)	
	Pyrolyse lente	Pyrolyse rapide
Gaz	19	75
Huiles	22	-
Eau	28	10
Charbon	31	15

Source : DEGLISE 1982

Comme décomposition thermique nous nous limiterons au cas de la carbonisation, la plus courante décomposition dans les pays en développement.

Lors de la carbonisation le bois est porté de la température ambiante à la température de réaction par phases distinctes.

a-Combustion:

N'a lieu que pour les carbonisations où la source d'énergie de lancement est interne (meule, four métallique transportable, ...). A ce stade le débit d'air est important, dans les zones de combustion la température augmente rapidement: une partie de la charge se consomme. A la fin de cette étape, on réduit le débit d'air et la température baisse (100 à 150°C).

b-Séchage:

sa durée dépend de l'humidité du bois et du type d'installation. L'eau se dégage, et peut entraîner quelques matières volatiles. La température atteint les 200°C.

c-Début de décomposition :

Au delà de 200°C et jusqu'à 270°C, les constituants les moins stables se décomposent en dégageant des gaz oxygénés: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, ...

Toutes ces phases sont endothermiques.

d-Réaction exothermique :

Le phénomène initiateur de cette réaction est le départ d'eau libre (EARL 74).

Jusqu'à 380°C: Se dégagent des hydrocarbures de poids moléculaire faible (Méthane, éthane, ...) et apparaissent des goudrons légers (formation de l'acide acétique, méthanol, ...). Le bois est carbonisé, mais sa teneur en C est de ça de 80%.

Jusqu'à 500°C: Ce sont surtout des hydrocarbures qui constituent les gaz de dégagement, alors que les goudrons épais et denses composent le jus pyroligneux. La teneur en carbone du charbon dépasse les 80%.

La température peut augmenter pour atteindre 700°C, entraînant le départ de H<sub>2</sub> au profit du C dont le taux augmente, mais au détriment de la quantité du charbon obtenu car une partie en est consommé.

Le rendement de la carbonisation :

le rendement est soit de matière, soit énergétique.

Il est fonction de plusieurs facteurs:

- la matière première,
- la méthode de carbonisation,
- les conditions atmosphériques pour certains cas,
- la qualification des opérateurs.

La matière première: le bois carbonisé influe sur le rendement et la qualité du charbon, se retrouvent au charbon les mêmes caractères physiques et mécaniques du bois d'origine. L'humidité du bois nécessite un séchage qui influence la durée du cycle et la quantité de charbon obtenue. Les dimensions du bois, comme pour la combustion, jouent un rôle dans le déroulement de la carbonisation.

La qualité de charbon (%C) et le rendement en charbon (quantité) sont en rapport inverse avec la température de carbonisation, la conduite de l'opération revient à la recherche d'un compromis entre les deux extrêmes: un charbon de qualité en faible quantité et un charbon de moins bonne qualité mais en quantités importantes.

La durée de la carbonisation, donc des différentes étapes, ou autrement dit de la vitesse de l'opération a une importance pour la qualité du charbon et surtout sur la répartition des quantités des produits (cf. tab.2)

plus la vitesse de montée de la température est grande plus le rendement en charbon est faible.

.Les modes de carbonisation artisanaux(meule, fosse,...)nécessitent un savoir faire et une surveillance intense.

Le charbon de bois:

Chimiquement les principaux composants du charbon de bois sont: le Carbone, les matières volatiles contenant du C H et O, et les matières minérales du bois.

Physiquement, il est caractérisé par : la densité , dureté, humidité, stabilité, valeur calorifique,...

Le charbon de bois dépend donc de la matière première et de la méthode de carbonisation(cf ci-dessus):

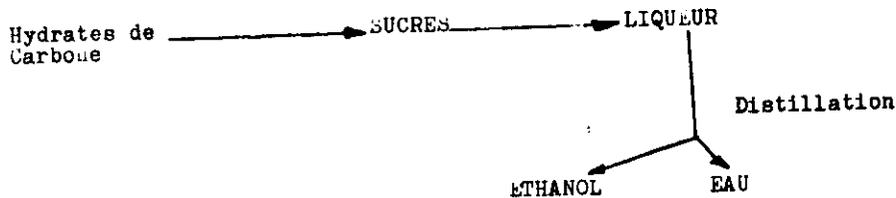
Le pouvoir calorifique du charbon est de 6500 à 8000 kcal/Kg.

II-3. Les autres modes de transformation du bois :

- Saccharification-Fermentation:

Son principe est la rupture ou l'hydrolyse des polysaccharides du bois. Les sucres en C<sub>6</sub> (Hexoses: glucose, galactose et mannose) fermentent en alcool éthylique. La difficulté de cette production réside dans la séparation et l'hydrolyse de la cellulose cristalline, mais la fabrication de l'éthanol à partir des produits pétroliers a mis en défaveur l'utilisation du bois dans ce domaine.

Le schéma de principe est le même pour tous les produits utilisés (cane à sucre, féculents, matière cellulosique,...) :



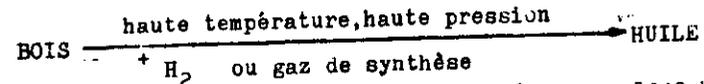
Plusieurs méthodes ont été développées et les techniques récentes sont d'ordre microbiologique avec des fermentations aboutissant

à des fortes concentrations d'alcool(50%) permettant de la même réaliser des économies d'énergie lors de la distillation.

-Liquéfaction thermochimique :

Est une opération de production d'huiles combustibles ou des produits chimiques définis et élaborés.

.Production d'huile:

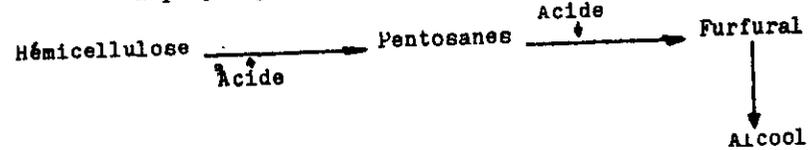


Cette huile, dont le pouvoir calorifique d'environ 8000 kcal/Kg, est obtenue à une température de l'ordre de 400°C.

Certaines méthodes ont donné des rendements de 1 équivalent baril fuel par 405 Kg de copeaux de bois( Rowell et al.82).

.Production de substances chimiques:

employée pour la production du furfural, selon le schéma:



Les sucres en C<sub>5</sub> sont attaqués par des acides au lieu de fermenter.

II- LES UTILISATIONS DU BOIS DE FEU AU MAROC :

Le bois de feu au Maroc est brûlé directement, carburé.

II-1- Combustion directe :

Concerne surtout les zones rurales et les activités artisanales, mais également les centres urbains surtout ceux limitrophes de régions forestières.

En consommation domestique, les foyers utilisés sont:

- Généralement ouverts,
- Se différencient par type d'utilisation,
- Se complètent dans une utilisation en cascade.

Foyer à pain:

Cas 1 : Est une enceinte fermée, bâtie en dôme. Pour sa construction sont utilisés : la pierre, la terre, et la paille. La partie basse est formée d'une dalle dont une partie constitue le foyer de combustion et l'autre partie sert à cuire le pain.

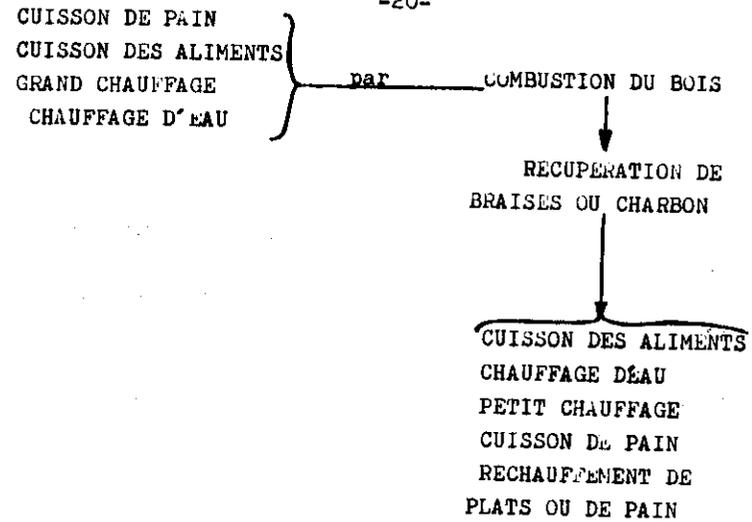
Cas 2 : Est construit en cercle ouvert sur environ le 1/5<sup>e</sup> de sa circonférence. La structure est constituée d'une marmite en argile dont le fond est enlevé ainsi que la partie qui servira à l'introduction des bois dans le four. Autour de cette structure, est formée une couche d'argile et de paille de 5 à 10 cm d'épaisseur.

Le feu est retiré du four une fois que la chaleur de ses parois est importante et la pâte est collée sur les parois chaudes. Accessoirement, ce four peut servir à la cuisson d'aliments ou au chauffage de l'eau.

Foyers à cuisson:

Ils sont du genre classiques, ouverts utilisant du bois. Certains modèles sont du genre protégés mais peu courants sauf le modèle du cas 2. Pour le charbon de bois, ou les braises des feux de bois, les foyers sont du genre braséro en argile ou en métal.

L'utilisation en cascade de ces foyers se fait selon ce schéma:



Ces systèmes entraînent un important gaspillage (non encore quantifié), par :

- l'utilisation excessive du bois surtout dans les régions boisées,
- certains foyers se basent sur un stockage d'énergie dans leurs matériaux nécessitant une grande quantité d'énergie supérieure aux besoins.
- le non contrôle de la combustion et du flux d'énergie produit,
- l'importance des fuites d'énergie n'étant pas concentrée sur l'ustensile.

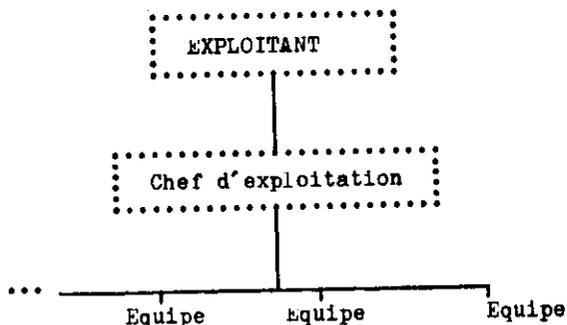
En consommation par les activités artisanales, le bois sert de combustibles dans:

- les fours à pain publics, identiques au cas 1 mais en dimensions plus importantes.
- les bains publics, le bois servant à chauffer l'eau et le local par chauffage du sol.
- les cafés ruraux, les forges, et fours à chaux,...

II-2. Carbonisation :

Elle est traditionnelle sur la base de meule forestière classique. Le bois exploité en forêt est carbonisé sur les lieux. Un chef exploitation assure la direction des travaux et dispose d'équipes engagées la tâche et formées de :

- .bûcherons
- .charbonniers
- .ouvriers



Construction de la meule :

Elle est du ressort des charbonniers. un débardage manuel ou par animaux rassemble les bois dans des zones de combustion.

La meule est construite autour d'une cheminée sur un plancher formé de bois. Les diamètres les plus importants se trouvent du côté de la cheminée. La couverture est de 2 couches :

- à base de feuillage et de houppier à l'intérieur au contact des bois, assurant une isolation grossière; tampon au flux des gaz et fumées, et conducteur du front de carbonisation.
- en terre à l'extérieur, complètement étanche (en principe), elle est d'une importance capitale pour le rendement de la carbonisation. Son épaisseur totale atteint les 50 cm.

Les essences de carbonisation au Maroc, sont :

- le chêne-vert (Quercus rotandifolia)
  - l'arganier (Argania spinosa)
  - les eucalyptus (E. gomphocéphala, E. camaldulensis, ...)
- Le chêne-liège (Quercus suber) et le thuya (Tetraclinis articulata), le sont de moins en moins. Par contre le chêne-vert demeure la première essence à carboniser et son charbon est de meilleure qualité, il constitue avec les Eucalyptus des essences d'importance nationale; par l'étendue et la répartition de leurs superficies et par la commercialisation de leur charbon qui dépasse les régions de production.

Essence	Production de Charbon(%)
Chêne-vert	57,6
Eucalyptus	25,7
Arganier	10,9
Chêne-liège	5,8
Total	100,0

En moyenne, environ 500.000 m<sup>3</sup>/an sont carbonisés, et dont il serait difficile d'estimer avec précision la quantité de charbon produite.

II-3. Facteurs limitants :

Pour la combustion directe, quoique les foyers employés n'aient pas encore fait l'objet de tests, leurs rendements et surtout l'utilisation de leur énergie sont des sources de gaspillage.

Pour la carbonisation, les rendements ne dépassent guère 18% de matière sèche, alors que des essais de four métallique ont donné des rendements de plus de 30% MS, l'une des causes en est la carbonisation de bois humides (moins de un mois de ressuyage dans les meil-

leurs des cas).

L'organisation de la production du charbon: travail à la tâche et au poids oblige les charbonniers à produire un charbon de mauvaise qualité, l'exploitant forestier vend son charbon au poids n'est pas pénalisé par une mauvaise qualité.

II-4. Modes d'amélioration :

Toute recherche d'amélioration passe par une bonne connaissance de la situation:

- des disponibilités,
- des consommations,
- des techniques de transformation.

Mais il est évident que des actions sont nécessaires pour améliorer les fours et foyers actuellement utilisés, pour imposer des techniques de carbonisation aux charbonniers voire généraliser les fours métalliques transportables, et dans tous les cas il faut tenir compte du fait que la forêt est complètement intégrée à l'économie rurale de plusieurs régions.

III- IMPACT DU BOIS DE FEU SUR LE COUVERT VEGETAL:

III-1. Les disponibilités :

Plusieurs facteurs rendent difficile l'estimation du disponible en bois de feu:

- la multitude des groupements et formations constituant la forêt marocaine, et leur hétérogénéité: formations forestières, presteppiques steppiques, ..., introduisant des variabilités par type, par régions, ...
- pour plusieurs forêts, les connaissances sont globales.

Ce disponible est partagé entre:

- .les forêts naturelles
- .les reboisements
- .la végétation ligneuse secondaire
- .l'alfa

Sur la base des superficies (cf. tab.3), le potentiel bois de feu est de l'ordre de 2,3 millions m<sup>3</sup>/an dont la grande majorité est fournie par les forêts naturelles (tab. 4).

Tab.3-Superficies et essences de la forêt marocaine.

Essences	Superficies (ha)
<u>Forêts naturelles :</u>	
.Chênaie verte	1.430.000
.Suberaie	270.000
.Tetraclinale	950.000
.Arganeraie	740.000
.Junuperaies	240.000
.Céderaie	140.000
.Pinèdes	80.000
.Chénaies caducifoliées	25.000
.Sapinière	3.000
<u>Reboisements :</u>	
.Eucalyptus	190.000
.Résineux	53.000
<u>Autres :</u>	
.Alfa	3.000.000
.Cistus sp., Pistacia lentiscus, Pistacia atlantica, Ziziphus lotus Arbitus unedo,...	500.000

Seuls environ 800.000m<sup>3</sup>/an sont produits par des exploitations régulières.

Malheureusement, le potentiel des formations secondaires est sous-estimé alors qu'il a un rôle très important. Quant à l'alfa elle se développe dans des contrées à faible densité d'habitants où même nulle.

Il est à remarquer que toutes les essences de la forêt marocaine fournissent du bois de feu.

Tab.4- disponibilités annuelles de bois de feu en 1000 m<sup>3</sup>.

Essences	Volume	Pourcentage
Cèdre	20,6	0,91
Pin maritime	2,0	0,09
Pin d'Alep	2,5	0,11
Chêne-vert	840,0	37,26
Chêne-liège	567,0	16,19
Arganier	200,0	11,09
Thuya	270,0	11,98
Eucalyptus	290,6	12,88
Résineux	13,8	0,61
Alfa	100,0	4,44
Autres	100,0	4,44
Total	2.254,5	100,00

### III-2. Modes de ramassage :

- Les exploitations : Ne concernent que les formations ligneuses principales (exploitation d'arbres), dernièrement on a introduit l'exploitation des maquis et le dépressement du chêne-vert. A distinguer deux types d'exploitations :

- celles où le bois de feu est l'unique produit (100% du volume), ce sont les exploitations de l'arganier et du chêne-vert.
- celles où le bois de feu est un produit secondaire, c'est le cas notamment du cèdre et des eucalyptus.

Essence	Part du volume en bois de feu
Cèdre	40%
Eucalyptus	20-30%
Pins	15-20%

importants

Ces pourcentages sont relativement élevés et traduisent la rentabilité d'une telle production.

- Les prélèvements et collectes directes : Les populations rurales riveraines de forêts bénéficient de par la loi forestière marocaine, d'un droit d'usage couvrant entre autres leurs besoins en bois de feu par le ramassage de bois morts. Ce droit est outre-passé par des délits d'abattage de bois vifs. Dans les deux cas, le combustible est destiné soit à l'autoconsommation soit à la vente dans les centres urbains. La tâche de ramassage revient à la femme quand il s'agit du petit bois alors que l'homme s'occupe des bois nécessitant un façonnage.

### III-3. Consommations du bois de feu :

Plusieurs études partielles ont traité cette question avant d'aboutir à une enquête nationale actuellement en cours. Avant de présenter l'estimation de la consommation globale, nous analyserons des cas précis.

#### a- Etude de cas :

##### a<sub>1</sub>-Les régions forestières :

Cette zone a une grande part de la superficie forestière totale : 900.000 ha pour une population de 1,3 millions d'habitants dont 0,6 millions de ruraux et 0,7 millions d'urbains.

En outre sa production de bois de feu approvisionne d'autres

régions. Les résultats de l'enquête sont :

- . consommation moyenne par habitant : 0,91 m<sup>3</sup>/an soit 1,17 millions de m<sup>3</sup>
- . elle se répartit entre la consommation domestique rurale : 75 %  
la consommation domestique urbaine : 20 %  
la consommation des activités : 5 %

Au moins donc 75% du volume total échappe aux circuits classiques de commercialisation.

##### a<sub>2</sub>-Les régions peu forestières :

Dans ces régions, l'énergie de biomasse a trois origines : le bois ramassé en forêt, le bois acheté, le complément étant assuré par plantes et autres formations secondaires ou déchets agricoles :

#### Cas 1 :

Présentation de la région :

Tab.5- Répartition de la population

Population urbaine	936.452	36%
nombre de centres urbains	4	
Population rurale	64.907	64%
nombre de centres ruraux	27	
Total	101.359	100%

Tab. 6-Superficie forestière

Essences	superficie	Pourcentage
Chêne-vert	30.000	2,9
Génévrier rouge	10.000	1,0
Alfa	1.000.000	96,1
Total	1.040.000	100,0

Tab. 7\* Consommations m<sup>3</sup>/an

Population	Consommation par habitant	Consommation total	%
Rurale	0,68	44.007	97
Urbaine	0,04 <sup>†</sup>	1.312	3
Total	-	45.319	100

+valeur arrondie

De la comparaison avec les régions de forêts, la consommation moyenne par habitant est moindre chose évidente eu égard à la disponibilité de la matière ligneuse. Si d'autre part, on compare la consommation du gaz domestique, on constate que:

- le bois est le combustible des zones rurales, même dans les régions peu pourvues en forêts,
- dans les foyers urbains le bois est utilisé pour couvrir 30% des besoins.
- la faible consommation de gaz par les ruraux revient au fait que celui-ci sert essentiellement à l'éclairage.

Tab. 8 - Comparaison des consommations bois de feu et gaz (10<sup>9</sup>kcal)

population	consom. gaz	consom. bois	total
rurale	0,04 (10%)	0,38 (90%)	0,42
urbaine	0,38 (70%)	0,16 (30%)	0,54

Cas 2 :

Une récente étude<sup>†</sup> a porté sur une région semi désertique du sud marocain; situation énergétique d'un village par L. Auclair. L'enquête a porté que sur une dizaine de foyers, mais nous pensons qu'elle est assez représentative, le mode de vie de la région ne présentant pas de larges différences.

Tab. 9- Population

population	1600 hab.
nombre de foyers	220
nombre de hameaux	15

La région ne dispose pas de forêts hormis quelques formations steppiques ou presteppiennes. Malgré cette faiblesse des sources forestière la prédominance de l'énergie biomassique est nette, et couvre 87% des besoins en énergie (tab. 10).

Tab. 10\* consommation des dix foyers

combustible	consommation	pourcentage
bois (kg.)	541,6	76,10
charbon de bois	42,3	11,15
gaz	31,5	12,75
total (MJ)	11.898,2	100,06

Au niveau de la consommation journalière par habitant (tab.11), ce taux est pratiquement le même, et on relève que plus de 2 tonnes de bois sont utilisés quotidiennement dans une région où la forêt est, sa forme la plus dégradée.

Tab. 11- consommations individuelles journalières(kg)

Combustible	consommation	pourcent
bois	1,33	77,6
charbon de bois	0,09	10,3
gaz domestique	0,07	12,1
total (kcal)	6.853	100,0

source: Auclair 1986

Le plus significatif est l'origine de cette énergie (tab. 12) où l'on constate que même le monde rural s'approvisionne sur le marché du bois de feu auprès d'exploitants forestiers des autres régions.

Tab. 12- Le bois combustible par origine

bois par origine	pourcent
bois collecté	54,0
bois des jardins	20,0
bois acheté	26,0
total	100,0

Auclair 1986

Au total l'énergie achetée atteint 42% de la consommation d'énergie des foyers :

Tab. 13- L'énergie achetée

combustion	pourcent
bois	20%
charbon bois	10%
gaz domestique	12%
total	42%

Ainsi le bois de feu et son dérivé demeurent le combustible principal même au niveau de l'achat, phénomène traduisant un net attachement des populations rurales aux combustibles ligneux (habitudes, simplicité,...). Le fait que la région fournit beaucoup d'immigrés n'est pas étranger à cette sorte de monétarisation de la recherche du bois de feu.

b- Estimation de la consommation totale:

Durant une longue période cette consommation fut sous-estimée. Elle était évaluée à environ 3 millions de stères (1,8 millions m<sup>3</sup>), dont 2 millions par prélèvements directs. Mais depuis les divers sondages, cette consommation a été corrigée et établie aux niveaux: -0,8 m<sup>3</sup>/an/hab. en milieu rural ou 9,7 millions m<sup>3</sup>/an, - et 0,1 m<sup>3</sup>/an/hab. en milieu urbain ou 0,9 millions m<sup>3</sup>/an donnant une consommation totale de 10,6 millions m<sup>3</sup>/an de combustibles ligneux. Il faut cependant nuancer ce chiffre car il englobe une partie des productions des formations secondaires, ou des déchets agricoles, donc non en bois forts.

c- Risques de déboisement et désertification :

- La stabilité du flux d'énergie entrant (rayonnement)
- L'augmentation de la demande (besoins des populations : énergie, bois, terrains, ...)
- l'importance des transferts : atmosphériques, hydriques, ou anthropiques, ...

font que les écosystèmes forestiers méditerranéens subissent une usure et des déséquilibres se traduisant par une dégradation et un recul du couvert végétal.

Le fait que les prélèvements du genre cueillette l'emportent sur ceux du genre projet, ne permet de réaliser que des objectifs à court terme répondant aux besoins des populations au détriment de la forêt.

mis à part son chiffrage, il faut citer les causes objectives du recul de la forêt. En effet la zone méditerranéenne se caractérise par :

- une forêt à hétérogénéité multiple
- des conditions climatiques assez dures (écarts, irrégularités, ..)
- des précipitations irrégulières dans le temps et dans l'espace, ces facteurs aboutissent à :
- des productivités faibles
- des difficultés de régénération

Le surpeuplement relatif de la zone expose ces forêts à des actions intensives de l'homme. La capacité de renouvellement, étant réduite, est dépassée par les prélèvements qui entament alors le capital au moyen d'un déboisement massif.

Dans le cas marocain, le déficit est énorme : 78% de la consommation (tab. 14), néanmoins ce déficit ne concernerait la forêt qu'à hauteur de 6 millions de m<sup>3</sup> sur 8 millions, vu l'intervention d'autres productions .

Tab. 14- Balance en 1000m<sup>3</sup>

consommation	potentiel	déficit
10.600	2.254	8.346
100%	22%	78%

IV- CONDITIONS SOCIO-ECONOMIQUES :

IV.1.1- Rôle du bois de feu dans la société marocaine:

Le bois de feu, comme dans toute société en développement, demeure un combustible très utilisé. Il est de préférence un combustible rural, mais employé aussi en ville et par des activités artisanales.

- Consommation rurale:

Même avec la disponibilité du gaz domestique, le bois est le combustible principal, le gaz servant d'appoint et utilisé plutôt à l'éclairage.

Outre les prélèvements pour l'autoconsommation, d'autres sont destinés à alimenter un petit commerce hors des circuits classiques. Ce commerce informel est adapté à la demande des foyers urbains pour qui le bois est un combustible d'appoint et répond aux conditions de l'offre : une journée de façonnage, transport à dos d'animal, le volume ne dépassant pas les deux stères:

- Consommation urbaine:

+volume L'urbanisation favorise l'emploi d'autres combustibles, d'où la faiblesse relative du bois consommé par ces foyers. mais des activités artisanales installées en ville utilisent intensément le bois.

L'importance du bois de feu au Maroc est attestée par les données comparatives avec les autres sources d'énergie domestique:

Tab. 15- ventilation de la consommation domestique per capita.

Combustible	Pourcent.
bois	78,3
gaz	10,1
pétrole lampant	2,9
électricité	8,7
total	100,0

IV-2. Importance économique du bois de feu :

C'est une importance triple, dans :

- . l'économie forestière
- . l'économie du secteur de l'énergie
- . l'économie globale.

Faute de données précises on n'évoquera que les deux premiers points.

a- Economie forestière:

La forêt marocaine assure la production de toute la consommation du pays en bois de feu.

Tab. 16- Part du bois de feu dans la production ligneuse.

Assortiment	% du volume
bois de feu	94,2%
bois d'œuvre	1,0%
bois d'industrie et de service	4,8%
total	100,0%

En ne considérant que la production ligneuse, nous relevons que la forêt marocaine produit quasi exclusivement que du bois de feu. Par rapport aux productions à valeur économique directe, le bois de feu est en deuxième position loin derrière le parcours.

Tab. 17- Part dans la valeur de la production forestière.

assortiment	%
bois de feu	6,3
bois d'œuvre	3,1
bois d'industrie et de service	2,1
liège	1,7
parcours	86,2
produits secondaires	0,1
divers	0,5

b- Economie du secteur de l'énergie :

Nous avons vu que la biomasse est le premier poste en consommation de l'énergie domestique (tab. 15), sa part dans le bilan énergétique global est de 31%.

Tab. 18- part dans le bilan énergétique.

source	%
Produits pétroliers	59,3
Charbon	7,2
gaz naturel	0,9
Electricité hydraulique	1,4
Biomasse	31,2

Cette énergie de biomasse représente 53% de l'énergie consommée  
par les produits pétroliers.

IV-3. Impératifs socio-économiques et juridiques :

Le bois de feu réduit les importations de produits pétroliers,  
mais ceci a pour corollaire de soumettre la forêt à une pression mettant  
en cause sa pérennité avec tous les risques qui en découlent.

Des impératifs socio-économiques et juridiques:

niveau de vie des populations rurales et certaines catégories des  
foyers urbains, ainsi que leur mode de vie,  
pauvreté du pays en matières d'énergie fossiles,  
la complète intégration économique de la forêt à la société  
rurale,

les divers droits dont jouissent les populations rurales dans la forêt,  
et que le bois de feu occupe une place si importante dans la consom-  
mation énergétique du pays.

La science de l'énergie est tributaire des mathématiques et de la  
physique, l'énergie de la biomasse l'est également quoique la matière  
première introduise une hétérogénéité de constitution et une variabi-  
lité des performances .

Apport des connaissances physiques et mathématiques :

La production énergétique du bois a lieu après dégradation  
du matériau (thermiquement ou chimiquement). Ces dégradations sont alors  
soit des éclatements soit des ruptures de liaisons et ponts, phénomè-  
nes physiques dont la réalisation et le suivi se font par contrôle de  
paramètres physiques : température, pression, ...  
L'évolution de la dégradation dépend de l'orientation donnée aux paramè-  
tres afin d'aboutir à des produits spécifiques pour des utilisations  
déterminées.

La maîtrise de ces données se traduit par une efficacité  
accrue des phénomènes de transformation de la matière ligneuse.

Autre étape, commune à toutes les sources d'énergie, est le  
transfert de chaleur; pour la biomasse la simplicité des opérations  
(fourneaux et feux à feux ouverts, ...) induit en erreur en installant un  
empirisme source de tous les gaspillages.

Les sciences mathématiques et physiques sont à la base des  
connaissances sur la production du matériau biomasse :

- le rayonnement solaire, sa constitution et son action
- les équations de production de la biomasse
- la constitution de la matière et ses caractères physiques
- les processus des différentes transformations.

Références bibliographiques

- AUCLAIR L.(1986)-La situation énergétique d'un village du Sud du Maroc. rapport. EN REF-ABF-ARME.
- BANQUE MONDIALE(1980 et 1981)- L'alcool et l'énergie biomassique au Brésil. Rapports.
- BENABID A.(1985)- Les écosystèmes forestiers, préforestiers, et prestépiques du Maroc: diversité, répartition biogéographique et problèmes posés par leur aménagement. In Forêt Méditerranéenne-T.VII n 1 pp.53-64.
- BRIANE ,DOAT (1985)-Guide technique de la carbonisation. ABF,CTFT,EDISUD 85.
- CEMAGREF (1985)- Potentiel, récolte et utilisation de la biomasse forestière. Etude n 27.
- DE LE PELEIRE G, KRISHNA K, VERHAART P, et VISSER P (1985)-Guide technique des fourreaux à bois. ABF, ENDA, SKAT, EDISUD 85.
- DEBAZAC E.F.(1980)- Ecologie et économie forestière in actualités d'écologie forestière. Ed. Gauthier-Villars.
- DEGLISE X. (1982)- Les conversions thermochimiques du bois in La Revue Forestière Française n 4, 1982.
- DIRECTION DE L'ENERGIE(1985)- EnVest, un système de planification. Rabat 1985.
- DIRECTION DES EAUX ET FORETS(1981 & 1985)- Rapports d'activité et rapports d'économie forestière . Rabat.
- EARL D.E. (1974) - Charcoal. FAO.
- EL ABID A (1983) - Valorisation chimique des produits lignocellulosiques: hydrogénéolyse du bois. DEA Sciences du bois univ. de Nancy III.
- FAO ( 1980 ) -Le bois comme source d'énergie. 5<sup>ème</sup> session du comité des forêts- Rome 1980.
- FAO (1986 ) - Documents de la 8<sup>ème</sup> session du comité des forêts. Rome.
- FOREST PRODUCT LABORATORY (1961)- Charcoal. MPL report n 2213 wisconsin .USA 1961.
- HRABOVSKY J.P.(1980)- La pieuvre énergétique. Cérés n 78 pp.15-20
- LOVINS A.B.(1979)- Stratégies énergétiques planétaires. Ed. Bourgois, Paris.

- MESON M.(1986)- Taillis et bois de feu, cas du chêne Tauzin , in forêt médit. T VII n 2 12/85 pp.131-136.
- MICHAELDIS (1983)- Woodenergy in the near east and north africa. rapport de mission, FAO- Rome.
- MICHIGAN STATE UNIV.(1982)-Proceedings of fuelwood, management and utilization seminar.
- MICUTA W.(1981)- Des fourreaux modernes pour tous. ABF, EDISUD.
- PETROFF G.(1980 )- Synthèse du méthanol à partir du bois, in Bois et forêts des Tropiques, n 192-CTFT, Paris.
- ROWELL, HAJNEY , et LONG (1982)-Energy and chemicals from wood, in Introduction to forest science. Ed. of univ. of Wisconsin
- SHERER (1986)- Energie:nouvel espoir pour les zones rurales, in forum + du développement n 119 /1986, p.6.
- ZIAD (1983)- Enquête consommation bois de feu. Division de l'économie forestière. Rabat.
- " (1984)-Le secteur forestier et la production de l'énergie, division de l'économie forestière. Rabat.
- " ( 1984)- Les essais de carbonisation en four métallique transportable. Division de l'économie forestière. Rabat.
- VERBE, J.I (1985)- Forest service energy research overview, in proceedings of the 5<sup>th</sup> annual solar and biomass energy workshop. Atlanta 1985.
- Divers numéros de "BOIS DE FEU INFORMATION" bulletin de l'association bois de feu.
- 
- + WINKELMAN, H.G. (1955)- La combustion du bois, in Unasylva vol 9. N 2- Rome 1955.