



**HAL**  
open science

# Avenir de la biomasse dans la production de carburants liquides

Patrick Chocat, Jeanne Seyvet

► **To cite this version:**

Patrick Chocat, Jeanne Seyvet. Avenir de la biomasse dans la production de carburants liquides. Sciences de l'ingénieur [physics]. 1981. hal-01909920

**HAL Id: hal-01909920**

**<https://minesparis-psl.hal.science/hal-01909920>**

Submitted on 31 Oct 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE

DES MINES DE Paris

COMMISSARIAT A  
L'ENERGIE SOLAIRE

*Bibliothèque*

AVENIR DE LA BIOMASSE DANS LA PRODUCTION  
DE CARBURANTS LIQUIDES

Intérêt du topinambour, du bois et de la betterave

Consultation  
sur place



[130]

JUIN 1981

*Patrick*

P. CHOCAT

Ingénieurs des Mines

J. SEYVET

*Jeanne*

TX/IS // SB 1720 / SB 1719 / SB 1750 / SB 1760

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE

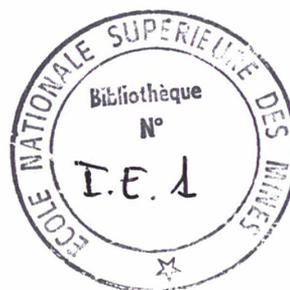
DES MINES DE Paris

COMMISSARIAT A  
L'ENERGIE SOLAIRE

AVENIR DE LA BIOMASSE DANS LA PRODUCTION  
DE CARBURANTS LIQUIDES

Intérêt du topinambour, du bois et de la betterave

**Consultation  
sur place**



[130]

JUIN 1981

P. CHOCAT  
Ingénieurs des Mines  
J. SEYVET

Cette étude a été menée à la demande du COMES et pilotée par M. AVENAS (D.I.T.)

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont reçus et nous ont communiqué documents et renseignements et tout particulièrement MM ROUGE, MORAND (COMES) et MM ARLETTE, THIRET et CARLIER de la Direction des Hydrocarbures, qui nous ont conseillé utilement tout au long de ce travail.

Notre reconnaissance va aussi aux membres de la Commission des Mémoires de l'Ecole des Mines pour leurs nombreuses suggestions et critiques.

Enfin, cette étude doit beaucoup à l'enthousiasme et aux encouragements de M. AVENAS (D.I.T.) qui n'a ménagé pour nous ni son temps ni ses conseils. Nous l'en remercions.

## RESUME

Quelle place peut avoir la biomasse dans la production de carburants liquides d'origine nationale ?

En 1990 on pourra fabriquer 1 à 2 M tep de carburants oxygénés sous la forme de :

- \* 1 Mtep de mélange acétonobutylique obtenu par fermentation de topinambour, à un prix qui sera déjà compétitif compte tenu de la propriété de ce produit comme tiers solvant entre méthanol et supercarburant,
- \* 0,5 à 1 Mtep de méthanol obtenu par gazéification de bois si on accepte de payer pour une "préférence nationale" le léger surcoût de cette filière par rapport au méthanol ex-charbon.

Ces deux techniques de transformation sont bien connues et seront opérationnelles très rapidement. Les problèmes à résoudre dans l'optique de production de carburant liquide sont donc surtout au niveau de la disponibilité en biomasse :

- \* Il faut renoncer à utiliser dans ce but les résidus agricoles (paille...) qui trouvent une meilleure utilisation par combustion directe localement.
- \* les 150 000 ha de topinambour nécessaires dans une première étape (1990) seront faciles à mobiliser si on paye le topinambour 120 F/t en rétrocédant la pulpe à l'agriculteur pour l'alimentation du bétail.
- \* la disponibilité en bois peut être assurée à raison d'1 Mm<sup>3</sup> dans chacune des régions Bourgogne, Centre, Champagne-Ardenne, mais la concurrence sera vive avec l'usage papier

et même la reconversion des taillis en futaie (bois d'oeuvre).

Dans un deuxième temps, si on veut amplifier ce programme et s'orienter soit vers des flottes captives 100% alcool soit vers un carburant national plus riche en alcool, les problèmes de disponibilité en biomasse s'en trouveront accrus. Nous préconisons alors :

- \* des structures de production souples permettant une insertion optimale dans les exploitations agricoles et facilitant d'éventuelles adaptations,
- \* des efforts de recherche et développement non seulement concernant la production de carburants de substitution mais aussi touchant toutes les utilisations non alimentaires de la biomasse.

TABLE DES MATIERES

=====

I - BIOMASSE ET INDEPENDANCE ENERGETIQUE

II - LES MODÈS DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE

A / LES VOIES SECHES

- 1) extraction de constituants élémentaires,
- 2) gazéification
- 3) liquéfaction

B / LES VOIES HUMIDES

- 1) origine du substrat
- 2) fermentation

C / CONCLUSION

III - QUE PEUT-ON ATTENDRE DE LA BIOMASSE ACTUELLEMENT DISPO-  
NIBLE ?

A / RESIDUS AGRICOLES

B / BIOMASSE FORESTIERE SUPPLEMENTAIRE MOBILISABLE

A COURT TERME

- 1) les motivations des propriétaires forestiers,
- 2) concurrence pour l'utilisation du bois mobi-  
lisable
- 3) concurrence entre le bois et les matières  
premières fossiles pour la production de  
méthanol,
- 4) les forêts tropicales

C / CONCLUSIONS

IV - QUE PEUT-ON ATTENDRE DES CULTURES ENERGETIQUES ?

A / PRODUCTION DE MATERIAUX CELLULOSIQUES

B / PRODUCTION D'ALCOOL PAR VOIE FERMENTAIRE

(betterave et topinambour)

- 1) remarques préalables
- 2) comparaison des charges d'exploitation
- 3) analyse poste par poste,
- 4) évaluation du prix de revient
- 5) potentialités de chacune des deux cultures.

C / CONCLUSIONS

- 1) bilan économique
- 2) conditions de développement
- 3) bilan énergétique
- 4) conclusions

V - PROBLEMES SOULEVES PAR L'UTILISATION DE CARBURANTS DE SUBSTITUTION

A / LES PROBLEMES DE DEMIXTION

B / PROBLEMES SPECIFIQUES DES MELANGES A FAIBLE TAUX D'ALCOOL

C / PROBLEMES SPECIFIQUES DES MELANGES A FORTE TENEUR EN ALCOOL

VI - LES GRANDES OPTIONS

A / LE SCENARIO DE REFERENCE

- 1) le mélange de référence
- 2) rentabilité économique
- 3) impact économique

B / CONDITION DE REALISATION DU SCENARIO

- 1) conditions économiques,
- 2) conditions de développement des cultures énergétiques,
- 3) avenir des filières étudiées,
- 4) conclusions

C / PERSPECTIVE A PLUS LONG TERME

- 1) quelques prolongements du scénario de référence,
- 2) évaluation de la ressource

D / CONCLUSIONS

TABLE DES REFERENCES

LISTE DES PERSONNALITES RENCONTREES

ANNEXES

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Marché de l'essence et de l'automobile.
- Annexe 2 : Caractéristiques et enseignements de quelques expériences étrangères.
- Annexe 3 : Le Plan Carburant de Substitution.
- Annexe 4 : Méthodes de transformation de la biomasse :  
Voies sèches.
- Annexe 5 : Méthodes de transformation de la biomasse :  
Voies humides .
- Annexe 6 : Données générales sur l'utilisation du territoire, la biomasse produite, la biomasse disponible.
- Annexe 7 : Le bois : ressources disponibles.
- Annexe 8 : Les cultures énergétiques cellulosiques.
- Annexe 9 : Les cultures énergétiques agricoles.
- Annexe 10 : Les forêts tropicales.
- Annexe 11 : Situation actuelle des marchés du méthanol et de d'éthanol. Perspectives.
- Annexe 12 : Problèmes soulevés par l'utilisation de produits oxygénés dans les carburants.

## I - BIOMASSE ET INDEPENDANCE ENERGETIQUE

Parmi les diverses utilisations des hydrocarbures, matières premières dont l'accès est devenu plus difficile et coûteux, les transports, les carburants ont ceci de particulier que l'on ne leur a pas trouvé à ce jour de produit de substitution. Rappelons qu'ils représentent aujourd'hui près de 30 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) (cf annexe 1) et il est peu probable, même avec des encouragements à une réduction de la consommation, que les besoins diminuent sensiblement.

Un certain nombre de pays étrangers ont cherché à lever cette dépendance en produisant à partir de divers substrats des carburants de substitution. Nous avons rappelé en annexe 2 les caractéristiques de 3 de ces expériences :

- le cas des U.S.A. où est aujourd'hui utilisé du gazohol, mélange de 80 % d'hydrocarbures, de 20 % d'éthanol produit à partir de maïs. Il semble que cet état de fait soit au moins pour partie lié à la situation de l'agriculture américaine.

- le cas du Brésil où est engagé un gigantesque programme de production d'alcool à partir de canne à sucre. Ce programme proalcool a été rendu possible par des conditions agronomiques, géographiques, climatiques spécifiques au Brésil ; mais il convient de souligner que sa réalisation est le fruit d'une volonté politique très forte qui s'est manifestée par des incitations financières substantielles.

- le cas de la R.F.A. qui a engagé au lendemain du 1er choc pétrolier un programme d'essai de carburant contenant du méthanol (M15 et M100)

En France a été lancé le 14 Janvier 1981 un plan carburol comportant deux phases (voir précisions en annexe 3) :

- dans un premier temps introduction progressive de produits oxygénés à raison de 10 % maximum dans le super. Simultanément une série d'essais et de pilotes est programmée pour permettre à terme la production industrielle de carburants de substitution.

- dans une deuxième phase augmentation de la quantité de produits de remplacement utilisés jusqu'à concurrence de 30 à 50 % des carburants.

Une partie des essais prévus concerne l'utilisation de biomasse comme matière première. Ce sont par exemple :

- des pilotes d'hydrolyse chimique ou enzymatique,
- des pilotes de gazéification du bois.

Le but de cette étude est d'essayer d'évaluer quelle peut être la contribution de la biomasse à la production de carburant liquide et quels problèmes devront, le cas échéant, être surmontés.

Nous étudierons, dans un premier temps, les différentes filières de transformation de la biomasse et parmi celles-ci, celles susceptibles de déboucher sur des réalisations industrielles à court terme.

Puis, nous examinerons quelles matières premières pourront être affectées à ces filières qu'il s'agisse de déchets d'exploitation, de ressources forestières ou de cultures énergétiques. Nous chercherons alors à dégager les filières les plus intéressantes sur le plan économique.

Nous nous interrogerons enfin sur les conditions nécessaires au développement de ces filières : concurrence d'autres sources de matière première, émergence d'autres

filières, importance du caractère stratégique des carburants...

## II - LES MODES DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE.

Afin de clarifier l'exposé des différentes méthodes de transformation de la biomasse, il est pratique de les regrouper en deux grands types :

- les voies "sèches". On cherche dans ce cas :
  - soit à extraire de la biomasse ses composants élémentaires en les modifiant plus ou moins.
  - soit à utiliser la matière végétale comme source de carbone et d'énergie, démarche assez proche de celle du pétrochimiste.
  
- les voies "humides" qui exploitent le fait que les constituants de la biomasse sont particulièrement susceptibles d'être transformés par des microorganismes.

Cette distinction, qui permet de classer aujourd'hui sans ambiguïté toutes les filières les plus prometteuses, a un intérêt plus opératoire que conceptuel ; il se peut qu'un jour l'on mette au point des techniques qu'il soit difficile de classer dans l'une ou l'autre de ces catégories : par exemple l'extraction d'hydrocarbures à partir d'algues. Cette séparation est cependant aujourd'hui encore assez pratique, ces deux types de filières sont très différentes quant aux conditions opératoires : milieu aqueux, température et pression atmosphérique, cinétique lente pour les voies humides, faible pourcentage d'eau, température moyenne ou élevée (200 à 1200°C), cinétique plus rapide pour les voies sèches.

Nous allons rappeler brièvement dans les deux

parties suivantes les conclusions de l'analyse plus détaillée faite dans les annexes 4 et 5.

#### A / LES VOIES SECHES

Il existe différentes stratégies de production de produits chimiques :

- 1°) l'extraction de constituants élémentaires,
- 2°) la gazéification ie la production de CO et d'H<sub>2</sub>
- 3°) la liquéfaction d'une certaine manière analogue au cracking catalytique d'une raffinerie

(nous reprendrons ici les conclusions de l'analyse détaillée reportée en annexe 4)

##### 1°) L'extraction

Celle-ci peut être accompagnée de remaniement dû à la chaleur (pyrolyse, carbonisation), à l'action d'un acide, de l'oxygène, d'hydrogène.

Rappelons d'abord qu'il existe des techniques traditionnelles relevant de cette analyse : il s'agit de la papeterie, de la fabrication de résines à base de lignines qui exploitent d'ailleurs la structure (ie fibres ou hauts polymères) de la matière végétale. Par contre il existe assez peu de méthode d'extraction de produits chimiques ayant un rendement suffisant : ce point est crucial étant donné le prix de la matière première.

##### 2°) La gazéification

Il s'agit de la production d'un mélange de CO et d'H<sub>2</sub> (ou gaz de synthèse) à partir duquel on sait synthétiser du méthanol. C'est la technique aujourd'hui utilisée pour produire du méthanol essentiellement à partir de gaz

naturel. Il suffit donc d'adapter cette technique à la biomasse dont la composition chimique, la texture, la réactivité sont différentes. Mais il est permis d'être optimiste quant à la faisabilité de cette filière, même si aucun projet industriel n'a encore vu le jour.

### 3°) La liquéfaction

Il s'agit, par hydrogénation, de décomposer la matière végétale en molécules plus courtes et d'obtenir ainsi un liquide. Diverses méthodes ont été proposées et sont en cours d'essais. Il reste à établir sur des pilotes les rendements que permet ce procédé (en y incluant la production d'hydrogène ou du réducteur utilisé) et la composition du liquide obtenu.

En conclusion, nous pouvons distinguer :

- des directions de recherche qui méritent d'être approfondies (liquéfaction, extraction de produits chimiques)
- une méthode de production de méthanol dont les caractéristiques techniques et économiques sont pour l'essentiel connues.

## B / LES VOIES HUMIDES

Ce sont par définition des procédés dans lesquels des microorganismes transforment la biomasse ie des fermentations (que nous étudierons plus en détail dans l'annexe 5).

Nous examinerons ici :

- 1°) le mode d'obtention du substrat pour la fermentation,
- 2°) la fermentation proprement dite,

### 1°) L'origine du substrat

Les substrats pour la fermentation sont des

sucres réducteurs à 5 ou 6 atomes de carbone.

On peut les obtenir :

- soit dans les tubercules ou les racines de certaines plantes (topinambour, betterave) les sucres peuvent être obtenus par osmose suivie ou non d'une hydrolyse.

- soit par hydrolyse de matériaux cellulosiques. En effet la cellulose et les hémicelluloses sont des hauts polymères de sucres réducteurs (glucose, xylose). On cherche donc par ces procédés à produire des sucres réducteurs à partir de matériaux tels que le bois, la paille... Cette extraction peut se faire après hydrolyse soit acide soit enzymatique de la matière végétale. Des essais seront faits dans les deux voies : il serait en effet extrêmement intéressant de disposer de méthodes de production de sucres fermentescibles ayant un bon rendement et relativement économiques (ie en gros dont les coûts de transformation soit comparables au coût de la matière première) ; ces sucres sont effet à la base de toute fermentation et donc des bioindustries présentes et à venir.

En conclusion, dans l'état actuel de la technique, les plantes sucrées (betterave, topinambour) fourniront le plus aisément la matière première nécessaire à la fermentation.

## 2°) La fermentation

Il s'agit ici de la production par des microorganismes anaérobies, d'alcool à partir des sucres évoqués au § précédent. La production de ces alcools, (essentiellement éthanol, n butanol, acétone) fait partie du métabolisme normal de ces microorganismes ; cela rend ces fermentations faciles à mettre en oeuvre, et l'on comprend que la fermentation éthylique soit connue depuis fort longtemps.

On peut distinguer deux types de produits finals.

- l'éthanol dont la production industrielle à

partir de betteraves a plus d'un siècle en France,

- un mélange acétono butylique (MBA) composé d'environ 60 % de butanol, 33 % d'acétone, 6 % d'éthanol. La fermentation a lieu dans des conditions similaires à la fermentation éthylique. Rappelons cependant que la concentration finale des alcools que l'on peut obtenir est plus faible que dans le cas de l'éthanol ce qui nécessitera un surcroit d'énergie lors de l'extraction.

Soulignons néanmoins dès maintenant que le MBA a d'intéressantes propriétés de tiers solvant qui, dans certaines circonstances (cf V) peuvent compenser ces inconvénients dans le processus de fabrication.

Le rendement énergétique de la fermentation proprement dite est comparable et assez voisin du maximum théorique prévu par la thermodynamique.

Quant à la matière première utilisée, la betterave et le topinambour sont très similaires. Le topinambour nécessite une hydrolyse supplémentaire aisée à réaliser ; il a, de plus, des fanes dont la combustion peut fournir toute l'énergie nécessaire à la transformation. Nous évoquerons les avantages relatifs de l'une et l'autre plante au V.

### C / CONCLUSIONS

En résumé on peut déceler :

- des voies d'exploration (hydroliquéfaction, hydrolyse des matériaux cellulosiques, extractions de produits chimiques), dont on peut dire qu'il n'existe pas à ce jour de procédés économiquement intéressants mais qu'une innovation technologique dans ces secteurs pourrait avoir une portée considérable.

- des filières à peu près maîtrisées aujourd'hui: la synthèse de méthanol après gazéification à partir de bois ou de paille, la fermentation de sucres extraits de la bet-

terave ou du topinambour en éthanol ou en mélange acétono butylique.

On peut remarquer, lorsqu'on considère les caractéristiques économiques de ces filières, la part importante de la matière première dans le prix de revient du carburant obtenu.

Nous nous attacherons donc dans les deux prochains chapitres à examiner quelle quantité de biomasse peut affectée à ces filières et à quel prix elle sera disponible.

### III - QUE PEUT-ON ATTENDRE DE LA BIOMASSE ACTUELLEMENT DISPONIBLE ?

Dans ce paragraphe, nous nous intéressons à la biomasse déjà existante sans modification des productions agricoles ou forestières : un tableau de l'annexe 6 résume l'utilisation du territoire français ; il faut en retenir que, si l'énergie solaire incidente est énorme (60 milliards de tep), la quantité de biomasse effectivement synthétisée est plus modeste (150 à 200 millions de tep, chiffre comparable aux besoins énergétiques français.) Enfin cette biomasse est déjà très largement utilisée à des fins alimentaires et industrielles (90 %). La biomasse actuellement disponible se compose de deux types : les résidus agricoles et les quantités supplémentaires mobilisables de bois. Nous allons analyser ces deux points.

#### A / RESIDUS AGRICOLES

L'étude détaillée en est faite dans l'annexe 6. 7 millions de tep de résidus agricoles seraient susceptibles d'une valorisation en carburant. Or 4 M tep sont des sous-produits variés trop hétérogènes et trop dispersés pour être effectivement mobilisés dans une telle filière. Restent 1 M tep de rafles de maïs et 2 M tep de paille de céréales. Ce type de déchets possède un atout puisqu'il s'agit d'une ressource géographiquement concentrée, qui coûterait de l'ordre de 260 F/t rendue usine (distance inférieure à 50 Km). Ce prix de revient pourrait d'ailleurs être abaissé jusqu'à 150 F/t avec des chantiers de ramassage performants et l'adoption d'une technique de surpressage permettrait de réduire considérablement les coûts de transport.

Pourtant une utilisation industrielle à des fins

de carburant ne parait pas pertinente pour plusieurs raisons :

- \* la ressource n'est pas très abondante,
- \* la faible densité de ces produits rend le transport cher et fait préférer une valorisation locale,
- \* il y a déjà des usages concurrents pour la paille comme pour les rafles de maïs, ce qui créera des tensions importantes quand de mauvaises conditions climatiques par exemple forceront l'agriculteur à faire une récolte plus faible.
- \* il y a un besoin local de chaleur basse température, (chauffage des locaux, séchage du maïs, déshydratation de la luzerne) qui aura un fort impact sur les agriculteurs soucieux de réduire leur consommation en produits pétroliers.
- \* enfin, il est bon pour des marchés aussi imprévisibles de s'en tenir à des schémas courts contrôlés par un agriculteur ou un groupe d'agriculteurs aux intérêts convergents.

Ainsi la valorisation intéressante des résidus agricoles est la combustion directe pour la production locale de chaleur basse température, et on ne peut raisonnablement en attendre une contribution significative dans une filière carburant. Notons au passage que brûler de la paille plutôt que d'en faire du méthanol n'est pas, contrairement à une idée répandue, une hérésie énergétique comme nous l'avons souligné dans l'annexe 6.

#### B / BIOMASSE FORESTIERE SUPPLEMENTAIRE MOBILISABLE A COURT TERME : \*

L'annexe 7 analyse en détail les quantités supplémentaires mobilisables de biomasse forestière.

-----  
 \* Nous nous inspirons de deux études CERNA 1981 : "Analyse spatiale par type de produit ligneux de la concurrence bois de feu bois d'industrie" et "Evaluation économique d'ensemble des effets d'un développement du bois énergie"

Elles sont globalement de : (en M m<sup>3</sup>)

\* Rémanents de coupe :

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Feuillus $\varnothing > 7$ cm | 0,4 |
| $\varnothing < 7$ cm          | 2,5 |
| Résineux                      | 1   |

\* Déchets d'industrie du bois

|                  |     |
|------------------|-----|
| Hypothèse faible | 1,3 |
| Hypothèse forte  | 2   |

\* Taillis âgés de plus de trente ans

8,6  
(+ 6,  $\varnothing < 7$ cm)

L'étude régionale, après avoir chiffré les ressources en biomasse et déduit les mobilisations concurrentes actuelles, conclut à l'existence de trois régions de ressource importante et concurrente faible, dans lesquelles la quantité supplémentaire mobilisable se répartit comme suit :

| Q.S.M.<br>en 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | REMANENTS DE COUPES — DECHETS SCIAGE |                                  |                                  |                     |                    | QUOTE<br>SUPPL<br>MOBILI-<br>SABLE<br>S/TAIL-<br>LIS | TOTAL<br>TOUTES<br>PROVE-<br>NANCES |
|---|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------|--|-------------------------------------|
|   | feuillus<br>$\varnothing > 7$ cm     | feuillus<br>$\varnothing < 7$ cm | résineux<br>$\varnothing < 7$ cm | Hypothèse<br>faible | Hypothèse<br>forte |  |                                     |
| REGION                                      | $\varnothing > 7$ cm                 | $\varnothing < 7$ cm             | $\varnothing < 7$ cm             |                     |                    |  |                                     |
| CHAMPAGNE<br>ARDENNE                        | 36                                   | 219                              | 6                                | 60                  | 88                 | 856  | 1192                                |
| CENTRE                                      | 29                                   | 172                              | 32                               | 67                  | 99                 | 904  | 1222                                |
| BOURGOGNE                                   | 33                                   | 191                              | 12                               | 57                  | 84                 | 1014   | 1320                                |

Les données de ce tableau sont à prendre à titre indicatif, une étude régionale plus fine étant indispensable comme préalable à tout projet industriel sur le bois dans ces régions. Néanmoins chacune d'elle semble pouvoir offrir

une quantité supplémentaire de bois mobilisable annuelle d'un million de m<sup>3</sup>. Trois types de problèmes se posent alors que nous allons analyser :

- comment se présentent les motivations des propriétaires forestiers pour faire sortir le bois de la forêt ?
- selon quelle filière, pour quel type d'usage, ce bois sera-t-il utilisé ?
- A supposer un usage carburant-méthanol de ce bois, comment s'articule la concurrence des matières premières fossiles vis à vis du bois pour la fabrication du méthanol?

#### 1) Les motivations des propriétaires forestiers

Du point de vue microéconomique, la motivation des propriétaires forestiers se présente de façon complexe : la demande localement plus forte en bois de type trituration d'une unité industrielle (méthanol, pâte...) doit pouvoir faire "sortir le bois" de ces taillis peu ou mal exploités (constitution de groupements de propriétaires forestiers, action incitative des pouvoirs publics). Le propriétaire peut alors choisir d'exploiter ses parcelles sans investir (en taillis naturel de faible productivité), ou en investissant pour transformer son taillis selon telle ou telle méthode sylvicole.

a) s'il n'investit pas dans ses parcelles boisées, il se contente de gérer les coupes en taillis naturel. Alors chaque hectare porte peu de bois ( 80t humide) qui est acheté 25 F/t sur pied (feuillus en mélange) après une période de 30 à 35 ans de reconstituer du taillis après la coupe. Cela signifie donc que le propriétaire continue à considérer ses parcelles boisées comme un patrimoine sans chercher à le rendre productif, sauf à l'occasion, pour assurer une rentrée financière.

b) s'il décide d'investir, il a encore là au moins trois possibilités :

Il peut transformer son taillis en :

- futaie artificielle de résineux (bois d'oeuvre)
- taillis cultivé, voir annexe 8, (bois de trituration, bois de feu)
- futaie jardinée\*de feuillus (bois d'oeuvre)

D'un point de vue strictement financier pour l'exploitant forestier, les deux premières solutions sont tout à fait comparables ; dans la pratique elles sont extrêmement dissemblables compte tenu des échelles de temps correspondantes : la rotation n'est que de 5 à 10 ans pour les taillis cultivés. On peut penser que c'est la deuxième possibilité (taillis cultivé) qui prévaudra pour des exploitations agricoles englobant une partie boisée - ce qui recouvre 2,6 M ha de bois et forêt (pour 10,5 Mha de forêt privée) regroupés pour l'essentiel en petites et moyennes surfaces - En effet l'exploitant agricole est sur place et a besoin de rentrées d'argent le plus rapprochées possible. Notons que le taillis à courte rotation présente l'avantage de multiplier le rendement par 5 à 10 par rapport au taillis simple. Nous reviendrons plus en détail sur cette voie au paragraphe suivant. Il faut savoir que face à cette possibilité de culture en taillis, d'autres formes de sylviculture émergent, en particulier la troisième voie mentionnée ci-dessus : la futaie jardinée. Les propriétaires forestiers surtout quand ils sont exploitants agricoles, donc sur place et outillés, ont intérêt à rechercher la production de bois d'oeuvre de qualité, et cette méthode le leur permettrait tout en conservant l'avantage de rentrées financières assez rapprochées. (voir par exemple dans l'hebdomadaire La France Agricole du 20 Février 1980 l'article de Michel

-----

\* La futaie jardinée est une forme de sylviculture intensive, pratiquée notamment dans la forêt paysanne en Suisse et en Autriche, où les arbres adultes coexistent sur la même parcelle avec les jeunes arbres et les baliveaux, par opposition à la futaie artificielle plantée donc équiennne sur toute la parcelle.

Hubert "Les petites parcelles sont rentables pourvu que nous les aménagions"). Remarquons que c'est un avantage décisif par rapport à une futaie de feuillus équienne qui arrive à l'âge adulte en 80 à 150 ans). Il ne faut donc pas sous estimer la concurrence que pourrait exercer le bois d'oeuvre sur le taillis à courte rotation lors de la revalorisation des anciens taillis.

## 2) Concurrence pour l'utilisation du bois mobilisable.

Nous avons vu que 2 à 3 régions en France sont susceptibles de fournir chacune 1 million de m<sup>3</sup> de bois supplémentaire.

Or un million de m<sup>3</sup> de bois peut alimenter :

- soit une usine produisant 210 000 t / an de pâte chimique blanchie,
- soit une dizaine d'usines de panneaux,
- soit une série d'unités produisant 220 000 t de méthanol/an
- soit les chaudières de 1000 à 1500 groupes de logements collectifs,
- soit les gazogènes de 6200 camions.

D'un point de vue macroéconomique, en terme de balance commerciale et d'emplois créés, les tableaux 1 et 2 (étude CERNA 1981 "Evaluation économique d'ensemble des effets d'un développement du bois-énergie") résument l'impact de ces différentes valorisations : il apparaît que la voie la plus intéressante est l'usage bois de trituration, et que, toujours du point de vue de la balance commerciale, les usages chauffage et méthanol deviennent aussi performant que la pâte si le prix de la tep dépasse 2000 F (pour un prix de la pâte de 2500 F/t). Si on exclut la voie transformation en panneaux pour laquelle le marché est pratiquement saturé, il reste que pour l'instant la valorisation la plus pertinente de ressources en bois supplémentaire est, de ce point de vue, l'usage pâte.

Tableau 1

Exploitation et utilisation de 1 Mm<sup>3</sup> de bois non scié  
en supplément de la récolte annuelle actuelle :  
emplois créés, consommations intermédiaires  
et importations induites, amortissements annuels  
pour les diverses opérations

| Opérations   | Nombre d'emplois créés | Energie achetée |             |                  | Consommations intermédiaires en M.F. (1) | Amortissements hors frais financier du matériel en M.F. | Importations induites annuellement (2) en MF |
|--|------------------------|-----------------|-------------|------------------|--|---|--|
|  |                        | E (6)           | C (7)       | Total en tep (8) |  |   |  |
| Exploitation en rondins de 0,5 Mm <sup>3</sup>           | 750                    | -               | 1250        | 1250             | -  | 6   | 3 à 4  |
| Exploitation en plaquettes de 0,5 Mm <sup>3</sup>        | 200                    | -               | 2700        | 2700             | -  | 12  | 0 à 12                                       |
| <b>Total exploitation 1 Mm<sup>3</sup></b>               | <b>950</b>             | <b>-</b>        | <b>3950</b> | <b>3950</b>      | <b>-</b>                                 | <b>18</b>   | <b>3 à 16</b>                                |
| Transport de 1 Mm <sup>3</sup> sur :                     |                        |                 |             |                  |  |   |  |
| - 50 km en moyenne                                       | 70                     | -               | 1360        | 1360             | -  | 6   |  |
| - 100 km en moyenne                                      | 120                    | -               | 2710        | 2710             | -  | 12  | -  |
| - 250 km en moyenne                                      | 230                    | -               | 770         | 6770             | -  | 30  | -  |
| Fabrication de pâte blanchie de marché "market pulp" (3) | 420                    | 34              | 14700       | 15040            | 42                                       | 95  | 24   |
| Fabrication de panneaux de particules (3)                | 720                    | 115             | 11100       | 11215            | 110                                      | 60  | 40   |
| Fabrication de méthanol                                  | 200                    | 45              | -           | 11700            | 5  | 66  | -  |
| Gazogène de camion                                       | -                      | -               | -           | -                | -  | 40 (5)  | -  |
| Chauffage de logements collectifs                        | -                      | -               | -           | -                | -  | 95 (4)  | -  |

(1) Produits autres que l'énergie

(2) Importations en matériel et consommations intermédiaires autres que l'énergie

(3) Usines neuves

(4) Ce chiffre correspond au surcoût d'investissement dû à l'utilisation du bois pour le chauffage

(5) Chiffre correspondant à une première évaluation et devant être considéré avec précaution

(6) Electricité en M kWh

(7) Combustibles ou carburants en tep

(8) total de l'énergie achetée exprimé en tep avec 1 000 kWh = 0,26 tep

3) Concurrence entre le bois et les matières premières fossiles pour la production de méthanol.

La production de méthanol à partir de bois, mise en concurrence par les autres usages du bois, l'est aussi et surtout par les autres matières premières menant au méthanol. Actuellement tout le méthanol produit en France l'est à partir de gaz naturel (voir annexe 11). Or le prix du gaz naturel s'aligne systématiquement sur le prix des produits pétroliers, rendant à courte échéance cette matière première non compétitive. Le charbon est un concurrent plus redoutable. Notre analyse des filières méthanol (annexe 4) montre que le prix de revient à la tonne du méthanol ex bois et ex charbon se réduit schématiquement aux formules suivantes :

ex bois :

$$\text{Prix du méthanol (F/t)} = 900 + 85 X$$

ex charbon :

$$\text{Prix du méthanol (F/t)} = 800 + 100 X$$

où X est le prix de la matière première en centimes par thermie.

Aujourd'hui, avec du bois à 200 F/t humide la tonne de méthanol est à 1700 F environ ; avec du charbon, respectivement à 300 F/T (importé) et 400 F/t (français), elle est à 1300 et 1600 F.

On voit donc qu'il existe dans l'immédiat un différentiel de prix assez faible mais net : le méthanol ex-bois n'est pas économiquement intéressant. Que peut-on prévoir des évolutions de prix de ces matières premières à long terme ? Le prix du bois de type trituration a connu des cycles liés à ceux de la pâte (annexe 7) mais décalés. (voir tableau 3). Il a connu une forte augmentation entre 73 et 74 liée à une forte demande et à l'augmentation du bois d'oeuvre, un palier de 74 à 78, l'industrie papetière dans une conjoncture particulièrement mauvaise n'étant pas disposée

Tableau 2

Exploitation et utilisation d'1 m<sup>3</sup> de "petits bois"  
en supplément de la récolte annuelle actuelle :  
emplois créés et bilans annuels en terme  
d'énergie et de balance commerciale, d'investissements  
requis sur 10 ans selon les diverses utilisations possibles

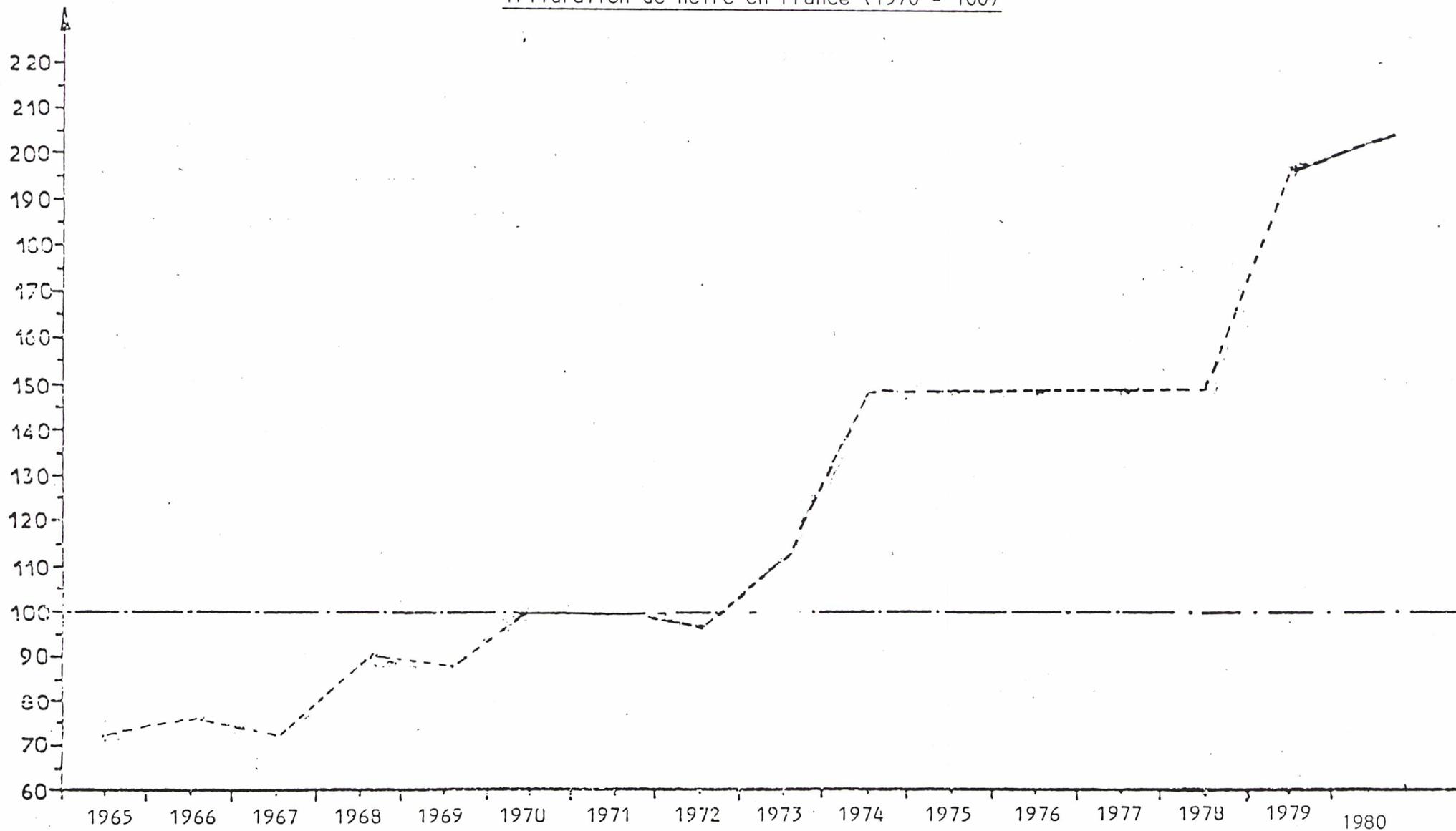
|   | Production annuelle  |                   | Investissements totaux en M.F. | Emplois créés | Bilan énergétique en TEP | Bilan balance commerciale en M.F. |            |            |
|---|--|-------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|------------|------------|
|   | en quantité  | en valeur en M.F. |                                |               |                          | 1TEP=1000F                        | 1TEP=1500F | 1TEP=3000F |
| Production de pâte chimique blanchie          | 210 000 + de pâte  |                   | 1 450                          | 1 600         | - 34 220                 |                                   |            |            |
| Prix de la pâte : 2500F/t                     |  | 525 (1)           |                                |               |                          | + 467                             | + 450      | + 398      |
| Prix de la pâte : 3000F/t                     |  | 630 (1)           |                                |               |                          | + 572                             | + 555      | + 503      |
| Production de panneaux (800F/m <sup>2</sup> ) | 720000m <sup>3</sup> de panneaux                             | 576 (1)           | 900                            | 1 790         | - 47660                  | + 488                             | + 464      | + 433      |
| Production de méthanol                        | 225000 + de méthanol   |                   | 1 150                          | + 1 380       |                          |                                   |            |            |
| 1t de méthanol ≈ 1 tep                        | 225000tep de super   | 500 (3)           |                                |               | * 215000                 | 215                               | 322        | 645        |
| ≈ 0,5 tep                                     | 112500 tep de super  | 250 (3)           |                                |               | * 102000                 | 102                               | 153        | 306        |
| Gazogène de camions                           | approvisionnement de 6200 poids lourds ≈ 150000tep de gazole | 285 (3)           | 650 (2)                        | 1 020         | + 145000                 | 135                               | 207        | 425        |
| Chauffage de logements collectifs             | chauffage de 150000 logements 205000tep                      |                   |                                |               |                          |                                   |            |            |
| - de FOD                                      |  | 328 (3)           | 1 200                          | 1 020         | + 200000                 | + 190                             | + 290      | + 590      |
| - de fuel lourd                               |  | 205               |                                |               |                          |                                   |            |            |

(1) selon le prix du marché

(2) Évaluation qui devra être précisée.

(3) Selon le prix de vente HT début 1981, du volume de produits pétroliers substitué

Evolution de l'indice du prix en Francs courants du bois de  
trituration de hêtre en France (1970 = 100)



Nota: Les courbes ci-dessus illustrent l'évolution des indices des prix pour la moyenne de l'année considérée.

à consentir une hausse, puis une nouvelle augmentation en 78 - 79 due principalement à une forte demande en bois de feu. Sur le long terme, le bois continuera à augmenter et des tensions sur ce marché sont prévisibles d'ici la fin du siècle par pénurie.

Si donc le charbon reste assez déconnecté des augmentations des matières premières énergétiques, la voie méthanol ex-charbon sera encore plus compétitive.

Seule l'hypothèse où toutes les matières premières énergétiques s'aligneraient donnerait sa chance à la filière méthanol ex bois.

#### 4) Les forêts tropicales

On met souvent l'accent sur les vastes potentialités des forêts tropicales. (voir annexe 10). Mais l'exploitation n'en est économique que si on pratique une sylviculture appropriée : coupe rase suivie de plantation, taillis à courte rotation. Une telle structure nécessite des investissements importants et on peut se demander si cela représente une solution optimum pour les pays considérés, même du point de vue de leur balance extérieure : diminution des importations de pétrole mais importation des équipements, des techniques. Aussi, si certains projets de ce type peuvent se développer ici ou là, il est peu probable d'en voir une généralisation : on ne verra pas de concurrence du méthanol ex bois provenant de forêts tropicales et si on peut trouver à exporter des procédés de production de méthanol ex-bois, le marché sera limité.

#### C / CONCLUSION

D'une part il n'y a aucun espoir raisonnable dans l'utilisation alcool carburant de déchets agricoles, sous produits végétaux.

D'autre part la production de méthanol ex-bois n'est envisageable en France que si le prix du charbon s'alignait sur le pétrole. Alors on pourrait installer au maximum trois usines de 500 t/j (soit 510 000 t/an au total) de méthanol dans trois régions Champagne-Ardennes, Centre et Bourgogne, sous réserve d'estimation locale plus précise. Il faut être conscient qu'à terme cette option ne pourrait qu'aggraver les tensions déjà vives, certaines années, sur l'approvisionnement en bois des usines. Enfin les quantités de méthanol ainsi dégagées (0,5 M tep) sont encore faibles par rapport aux besoins en carburant. En conséquence, cette option ne semble pas pertinente sauf à préférer une ressource nationale.

#### IV - QUE PEUT-ON ATTENDRE DES CULTURES ENERGETIQUES ?

Nous avons vu au paragraphe précédent que les ressources en déchets forestiers ou agricoles n'étaient ni qualitativement (à cause de leur hétérogénéité et de leur dispersion) ni quantitativement de nature à permettre la production à une échelle substantielle de carburants de substitution.

Nous allons donc examiner dans ce chapitre :

- A / la production de matériaux susceptibles d'être transformé par voie sèche,
- B / la production de matériaux susceptibles d'être transformé par voie fermentaire.

##### A / LA PRODUCTION DE MATÉRIAUX CELLULOSIQUES

Il s'agit essentiellement des plantations en taillis à courte rotation (peuplier, eucalyptus) ou de plantes telles que la canne de Provence, l'objectif étant la production de la plus grande quantité possible de matière sèche quelque soit sa qualité.

La canne de Provence est intéressante (annexe 8) mais son extension n'étant possible qu'en région méditerranéenne pour l'instant, cela limite les projets possibles. D'autre part nous manquons de données sur le prix de revient de ce produit qui avait été estimé en 73 à 150 f/t rendu usine ce qui ne le rendrait pas compétitif aujourd'hui par rapport au bois.

En ce qui concerne les taillis à courte rotation (annexe 8) nous ne retenons pas le peuplier à cause de la

concurrence sur des terres agricoles. Néanmoins, l'eucalyptus et le sequoia, dès que la phase de mise au point sylvicole sera achevée (respectivement 3 et 4 ans en principe), seront intéressants. Ils permettent de multiplier le rendement du taillis naturel par 10 ; ils offrent au propriétaire forestier un revenu intéressant à rotation relativement rapide (10ans). Ils fournissent à l'industriel un produit très homogène au même prix que le taillis naturel (200 F/t humide rendue usine). D'autre part, ils représentent pour l'usine un approvisionnement sous contrat, ce qui n'est pas négligeable quand on sait que le coût de la prospection pour approvisionnement est de 22 à 25 / . (On estime à 30% la part optimale d'approvisionnement sous contrat compte tenu du coût marginal d'une défaillance.) Notons qu'il faudra trouver des modalités de contrat qui donnent suffisamment de garanties aux deux parties ce qui est délicat pour un contrat à 10 ans d'autant plus que la période de coupe est critique à un ou deux ans près.

Mais précisément le prix rendu usine étant le même que celui du taillis naturel, le problème de la compétition entre bois et charbon pour la production de méthanol se pose dans les mêmes termes que pour le taillis naturel étudié plus haut : cette filière ex-bois n'est pas rentable pour l'instant.

#### B / LA PRODUCTION D'ALCOOL PAR VOIE FERMENTAIRE

Nous avons conclu au II que l'éthanol et le MBA (mélange acétono butylique) étaient les produits les plus faciles à obtenir par fermentation, étant donné qu'ils étaient des produits finaux du métabolisme normal des microorganismes fermentaires.

Par ailleurs, rappelons que des méthodes d'hydrolyse satisfaisantes du point de vue du rendement en sucres fermentescibles et du point de vue économique, n'existent pas à l'heure actuelle même si plusieurs sont à l'étude.

Nous n'écartons pas cette voie qui, bien au contraire, nous semble à terme extrêmement intéressante, mais nous pensons qu'elle ne débouchera pas sur des projets industriels importants à court ou moyen terme.

Nous éliminerons aussi la fermentation de produits amylacés (pomme de terre, céréales) à vocation alimentaire et que leur prix de revient rendent prohibitifs.

Nous nous concentrerons donc dans les paragraphes suivants sur l'étude de plantes susceptibles de fournir aujourd'hui le substrat des fermentations alcooliques :

- la betterave,
- le topinambour.

Les principales données agronomiques ou techniques concernant ces deux plantes sont fournies en annexe 9. Nous nous intéresserons ici plus particulièrement au côté économique de ces cultures.

En effet, tant que l'on se maintient dans le cadre du plan carburol, une contribution partielle de ces cultures représenterait des surfaces assez comparables à ce qui existe déjà ou a existé dans un passé récent. Nous reviendrons plus en détail sur ce point.

#### 1) Remarques préalables

Nous allons analyser quelques décompositions de prix de revient de production de ces deux produits. Notre but n'est pas de proposer un juste prix à payer à l'agriculteur, ni d'indiquer à l'industriel concerné le prix qu'il doit escompter pour s'approvisionner en matières premières. Nous ne saurions trop insister sur le fait qu'en pratique la fixation d'un prix agricole n'est pas le résultat d'un calcul du type de ceux que nous allons analyser et cela pour deux types de raisons:

- la production de betterave ou de topinambour n'est jamais le fait d'une monoculture ; il est donc toujours artificiel de vouloir isoler ce qui dans une exploitation agricole doit être affecté à telle ou telle culture. De plus, l'aspect de complémentarité (assolement, nourriture du bétail) est particulièrement difficile à quantifier. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point.

- les prix de la betterave sont fixés à l'échelon de la communauté économique européenne. Interviennent donc de façon importante des considérations sociales et politiques : les agriculteurs ne s'y trompent pas et reconnaissent l'importance du rôle joué par les pouvoirs publics dans la fixation de ces prix.

Nous espérons cependant mettre en lumière, à travers cette analyse, les points considérés comme cruciaux par les producteurs et ainsi mieux cerner ce que l'on peut attendre de ces cultures.

Nous prendrons comme référence :

- une étude faite par BERTIN en 1974 que nous avons actualisée à 1980. Cette actualisation n'est pas exempte de défauts car elle prend mal en considération l'effet du progrès technique et certains différentiels d'inflation,
- une étude d'APC (1981) sur le topinambour,
- une étude de la Chambre d'agriculture du Limousin.

|                                   | BETTERAVE<br>étude BERTIN<br>en F/ha | TOPINAMBOUR<br>étude A.P.C.<br>en F/ha | TOPINAMBOUR<br>étude Chambre<br>d'agriculture<br>en F/ha |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| a°) fermage                       | 550 à 650 F                          | 800                                    | 400  |
| b°) semence                       | 1025 à 1640                          | 600                                    | 300 + 300<br>(préparation<br>des tubercu-<br>les)        |
| c°) engrais                       | 1320 à 1830                          | 1050                                   | 850  |
| d°) produits phy-<br>tosanitaires | 840 à 1260                           | 0                                      | 0  |
| e°) main d'oeuvre                 | 740 à 880                            | 790 (à 35F/h)                          | 1100F (à 22F/h)  |
| f°) amortissement                 | 1820                                 | 1600                                   | 5300   |
| frais d'exploit<br>tation         | 430 à 740                            | 250                                    | )<br>)<br>)  |
| g°) frais géné-<br>raux           | 540 à 700                            | 0                                      | 680  |
| TOTAL                             | 7240 à 9500                          | 5090                                   | 8930   |
| soit à 45t/ha                     | de 160 à 210F<br>par t               | 113 F/t                                | 198 F/t  |

### 3) Analyse poste par poste

a°) Fermage : Pour les deux cultures les terres sont parmi les meilleures des régions considérées. En effet la betterave nécessite un sol profond et le topinambour une terre légère. Cependant le topinambour est aujourd'hui exploité dans des régions où la demande de terre est moins forte que dans le cas de la betterave. Le chiffre avancé par la Chambre d'agriculture du Limousin nous semble donc assez vraisemblable. Par contre le chiffre de BERTIN est peut-être légèrement en deçà de la réalité.

b°) Les semis : Il s'agit pour la betterave de semences achetées à un producteur et pour le topinambour

d'une partie de la récolte de l'année précédente réutilisée (on plante en effet des tubercules). La différence entre auto-production et circuit commercial explique assez bien la différence de prix.

c°) Les engrais : La culture de la betterave requiert beaucoup d'engrais eux-même nécessitant une grande quantité d'énergie pour leur synthèse et dont le prix a beaucoup crû ? ces dernières années. Par contre le topinambour requiert moins d'engrais (surtout en ce qui concerne  $NH_3$ ). Mais il convient de souligner que, sa culture étant principalement pratiquée en zone d'élevage, les cultivateurs recourent assez systématiquement à l'épandage de fumier qui apporte une partie des besoins de la plante en azote, potasse et phosphate ; cela signifie que leurs achats seront plus faibles mais cela requerra un surcroît de travail pour l'agriculteur.

d°) Les traitements phytosanitaires : Ces produits ont vu leur prix fortement croître au cours de ces dernières années (de façon assez comparable à celle des engrais). Le fait que le topinambour ne requière aucun traitement est une caractéristique extrêmement favorable de cette plante : son important couvert feuillu lui permet en effet d'éliminer toutes les autres plantes concurrentes de plus on ne connaît qu'une seule maladie l'attaquant et certaines espèces semblent résistantes.

Les postes énumérés ci-dessus sont les plus faciles à évaluer et prêtent le moins à contestation : les postes ci-dessous sont plus difficiles à chiffrer.

e°) Main d'oeuvre : Remarquons que la betterave nécessite un binage, démarriage effectué à la main et donc il est vraisemblable que le poste main-d'oeuvre est sous-estimé, ce qui peut être dû en partie à une actualisation 1973/1980 un peu faible.

La différence entre l'étude APC et l'étude de la

Chambre d'agriculture met en relief une difficulté spécifique à l'agriculture : quel est le prix de l'heure de main d'oeuvre ? En effet, si l'on peut connaître le prix d'une heure d'ouvrier agricole, il est beaucoup plus difficile de le faire quand il s'agit de l'exploitant lui-même : or la plupart des exploitations agricoles où l'on produit aujourd'hui du topinambour sont familiales. Dans ce cas il est clair que l'agriculteur lui attribue une valeur différente selon la période de l'année ; l'hiver est ainsi une période creuse ce qui explique que l'on recoure ainsi si souvent au ramassage manuel du topinambour ce qui serait impossible à d'autres moments de l'année. Ainsi l'appréciation variable de la valeur de l'heure de travail ne se traduit pas forcément par une variation de prix mais par le refus de faire simultanément certains types de culture. De plus, quel lien faut-il établir pour un fermier propriétaire de ses terres entre le fermage, la marge bénéficiaire (cf plus bas) et le prix des heures de travail ? Si ce calcul peut nous aider à évaluer le revenu brut à l'hectare qui assure à l'agriculteur, déduction faite de ses frais professionnels, un niveau de vie décent, il ne peut ni nous garantir qu'à ce prix-là l'agriculteur acceptera de faire du topinambour ni même qu'il n'acceptera pas de le faire pour moins.

La différence des taux horaires retenus (35F/h et 22F/h) n'a finalement pas une grosse influence sur le total. La différence quant au nombre d'heures de travail nécessaire tient au moins pour partie à une sous-estimation de certaines opérations culturales (binage, buttage, épandage du fumier).

#### f°) Amortissements et frais d'exploitation

Les études consultées n'indiquent pas le mode de calcul des investissements adopté. Mais nous pouvons certainement faire des remarques semblables à celles faites à propos de la main d'oeuvre. Comme le fait remarquer BERTIN, il est assez artificiel de déterminer quelle partie du matériel

doit être amortie sur la culture considérée. De même que précédemment si ceci doit nous aider à estimer ce qui doit être versé à l'agriculteur pour assurer la survie de son exploitation, cela ne nous indique pas ce qui déterminera l'agriculteur à produire ou non.

La valeur légèrement plus élevée de ce poste pour la betterave tient vraisemblablement à la nécessité de travaux d'assolement et de traitements phytosanitaires plus nombreux.

Par contre l'on constate une différence extrêmement importante entre les évaluations d'APC et de la chambre d'agriculture du Limousin que l'on peut décomposer en :

- une sous évaluation par APC des travaux de culture nécessaires (contre-partie au niveau du matériel de la différence observée dans le poste main d'oeuvre),
- une différence dans les clefs de calcul des amortissements non explicitées (de l'ordre de grandeur du poste précédent)
- et surtout une très grosse différence au niveau du ramassage et du transport.

La Chambre d'agriculture a vraisemblablement extrapolé le coût du transport à partir de la situation actuelle où l'agriculteur assure seul le ramassage et le transport. Le passage à une échelle industrielle supposerait une planification et une organisation de la récolte comparable à celle réalisée pour les betteraves sucrières : en effet, une fois sortis du sol, les tubercules se conservent assez mal ; il convient donc d'échelonnèr les récoltes. De même l'amortissement d'une arracheuse-chargeuse moderne est peut être difficile sur une entreprise et une solution coopérative, fréquente dans d'autres domaines, doit être envisagée. Ces deux points se traduisent par une surévaluation de l'ordre de 1500 à 2000 F/ha par la Chambre d'agriculture du Limousin.

g°) Les frais généraux :

Le contenu de cette rubrique varie assez largement d'une étude à l'autre et peut comporter des postes tels que charges sociales, assurances, frais financiers. De même que pour le poste main d'oeuvre, on peut se demander si ce poste ne correspond pas d'une certaine manière à une marge bénéficiaire.

4) Evaluation du prix de revient

a°) validité de cette évaluation.

Nous pouvons regrouper les charges en trois catégories, la répartition des charges entre ces trois rubriques pouvant d'ailleurs dépendre des types d'exploitation.

- les charges variables. Cela recouvre par exemple les semences, les carburants, les traitements phytosanitaires... Ce sont des dépenses effectives du cultivateur, qu'il n'engage que s'il fait la culture considérée. Elles posent relativement peu de problème de détermination et les différentes évaluations sont assez comparables.

- les charges fixes. Cela recouvre essentiellement le matériel agricole. Quelque soit l'activité économique, la détermination des clefs de répartition des charges fixes entre les différentes productions est toujours difficile et entachée d'une certaine part d'arbitraire. La situation est encore plus critique dans une exploitation agricole. En effet, une culture donnée est toujours extrêmement minoritaire: un "betteravier" a au maximum un quart de ses terres en betterave, et dans le cas du topinambour le maximum doit être d'environ 15 %.

- les charges ne correspondent pas à une dépense. L'exemple type est la main d'oeuvre mais cela peut recou-

vrir d'autres postes (fumiers, tubercules de topinambour à planter, ...) L'évaluation est particulièrement difficile : elle devrait tenir compte dans le cas de la main d'oeuvre du type d'exploitation, de la région, de la période de l'année...

On observe d'ailleurs, dans les différents calculs, des différences substantielles.

Il est donc à prévoir que le prix de vente ne sera pas le résultat de ces calculs. Cela ne signifie pas que l'bn ne puisse pas faire d'évaluation ni même que les exploitants agricoles ne se livrent pas à des calculs de prix n'évaluent pas ce qu'ils estiment être un "juste" prix, un prix seuil. On peut essayer de faire des calculs sur plusieurs années pour intégrer l'effet des assolements nécessaires, de faire un calcul sur une exploitation entière en comparant deux systèmes, l'un avec la culture considérée, l'autre sans, évitant ainsi les données arbitraires concernant les charges fixes et les charges ne donnant pas lieu à dépense.

Ce type de calcul permet alors d'évaluer plus finement les effets que nous avons signalés dans nos commentaires poste à poste (cf 3°) : nécessité d'un assolement, utilisation des sous-produits, synergie avec d'autres activités de l'exploitation ; cela permet même d'une certaine manière une quantification de ces facteurs. Nous voyons cependant encore deux limites à ces évaluations : certaines contraintes techniques (par exemple un risque de surcharge de travail) seront difficiles à intégrer et ce mode de calcul sera trop complexe pour servir dans des négociations.

Il faut souligner ici que le prix de revient ne peut en aucun cas être confondu avec le prix de vente, celui-ci dépendant très fortement de la structure de négociation. Schématiquement on peut distinguer deux cas :

- négociation de producteur à utilisateur. C'est le cas aujourd'hui pour le topinambour. Dans cette situation le prix de vente doit être supérieur au prix de revient défini plus haut pour motiver les agriculteurs mais en est assez voisin tant que l'utilisateur peut se tourner vers d'autres matières premières.

- interférence d'organismes centraux (nationaux ou internationaux). C'est le cas de la betterave dont le prix est fixé au niveau de la Communauté Economique Européenne : l'objectif était, rappelons-le de créer un marché européen protégé de la concurrence internationale afin de promouvoir une agriculture européenne (et cet objectif a été largement atteint.) Dans ce cas le prix de vente intègre des considérations globales : maintien du niveau de vie des agriculteurs, encouragement d'une culture, incitation à la mécanisation. Le lien avec un prix de revient devient alors beaucoup plus difficile si ce n'est totalement impossible.

b°) Evaluation du prix de revient :

Nous nous placerons donc ultérieurement clairement dans l'hypothèse de l'existence d'un marché ie de la possibilité pour chacun des interlocuteurs de faire son choix.

Dans ce cas, nous retiendrons :

- pour la betterave. En augmentant de 500 F le poste main-d'oeuvre qui nous paraît avoir été sous-estimé :

7 700 à 10 000 F / ha

- pour le topinambour. En réduisant de 1 500 F l'évaluation de la Chambre d'Agriculture pour le transport, en augmentant de 1 500 F l'évaluation d'APC pour corriger une certaine sous-évaluation des travaux de culture nécessaire (+1000 F) et introduire une marge pour l'agriculteur afin d'inciter au développement de la culture (+ 500 F)

Nous trouvons alors

6 500 à 7 500 F / ha

5) Potentialités de chacunes des deux cultures.

Nous inspirant des remarques faites plus haut, nous allons maintenant étudier les deux cultures envisagées, l'élément primordial nous semblant l'insertion de la culture considérée dans un contexte agricole donné.

a) La betterave

Rappelons d'abord quelques données (évoquées dans les annexes 9 et 11).

La production totale d'éthanol est aujourd'hui de 2,5 millions d'hectolitres (en comptant la production à partir de betterave sur et hors quota ainsi que la production à partir de mélasse) ce qui représente, à raison de 90 l d'éthanol par tonne de betterave, 2,8 M tonnes de betteraves, ie environ 12 % de la production française qui se décomposent en :

- 5 % traités par des distilleries qui produisent 60 % de l'éthanol produit à partir de betteraves (ie non compris la mélasse),
- 7 % qui correspondent à la production des sucreries distilleries qui traitent une partie de la mélasse produite (environ 20 %) et des betteraves en excédent.

La production d'alcool à partir de betterave paraît donc doublement marginale :

- D'une part elle sert à valoriser un sous-produit de la production du sucre, la mélasse. Notons que ceci ne concerne qu'environ 20 % de la mélasse produite, celle-ci pouvant être valorisée comme nourriture pour le bétail, fermentations autres qu'éthylique, ou même exportée. Ces usages concurrents risquent à l'avenir de se développer surtout

s'il n'apparaît pas à l'avenir de source de sucres fermentescibles concurrentes (cf annexe 5 I)

- D'autre part elle a un rôle de pondérateur vis à vis des fluctuations assez brutales qui se produisent sur le marché du sucre (qui a pu passer de 1974 à 1979 d'environ 3 400 F/T à 1000 F/T) au niveau international. Il faut remarquer que le marché européen du sucre est protégé et que ces fluctuations ne jouent que de façon marginale sur les débouchés des sucriers français. Il est cependant possible de pousser plus ou moins la cristallisation du sucre des eaux-mères en sucrerie, de produire par exemple moins de sucre et plus de mélasse que l'on valorise ensuite en distillerie.

Rappelons maintenant le résultat du paragraphe précédent. Le revenu brut à l'hectare souhaitable (ie permettant une perennité de l'exploitation agricole) doit se situer entre 7 700 à 10 000 F / ha ce qui, à raison de 45 t/Ha correspond à un cours de 170 à 220 F/t ce que l'on peut rapprocher du cours du quota A pour la saison 79-80 de 181 F/t et pour la campagne 80/81 d'environ 200 F/t (auquel il conviendrait d'ajouter le prix des pulpes).

Il nous semble donc raisonnable de retenir comme prix de référence, si l'on envisage une production à grande échelle d'éthanol carburant (ie si celle-ci ne reste pas marginale vis à vis de la production de sucre de betterave), 200 F/T.

Remarquons que si l'on considère cette production au contraire comme marginale on peut envisager de réduire les postes amortissements, frais généraux, fermage et main d'oeuvre (en partie) soit plus de 40 % du prix de revient et ainsi trouver des prix de 120 F/t. Nous estimons que ces prix, qui ont pu être parfois observés dans le passé, ne représentent pas une situation susceptible de généralisation.

b°) Le topinambour

La culture du topinambour se situe dans un contexte tout différent : elle est fondamentalement destinée à l'alimentation du bétail et ne se trouve que dans des régions d'élevage. Cela se manifeste de différentes façons :

- par la nécessité de l'assolement, par de la luzerne ou une prairie artificielle. En effet, il est impossible d'extraire du sol au moment de la récolte tous les tubercules ; en conséquence, il faut mettre la ou les années suivantes une culture qui permette de se débarrasser de ces rejets indésirables. La luzerne convient parfaitement, étant donné les multiples coupes partiquées dans l'année,

- par la possibilité d'utiliser les pulpes de tubercule après extraction des sucres, comme aliment pour le bétail. C'était une pratique courante vers 1950 autour de certaines distilleries françaises fonctionnant à base de topinambour. On leur attribue une valeur nutritive d'environ 0,2 unité fourragère par KG (UF/kg) ce qui à raison d'environ 0,8 F/UF correspond à une valeur de 2.800 F.

Dans ces conditions, même si on prend la borne supérieure de l'évaluation faite au 3° de 7 500 F/ha, ce qui est assez proche d'une estimation réalisée par sondage d'opinion par la C.O.P.A.R. (Coopérative agricole du Limousin) auprès d'actuels producteurs de topinambour, et si l'on déduit la valeur des pulpes revendables, on trouve un prix de la matière première de 4 700 F/ha ie 105 F/t.

Par prudence, nous retiendrons pour la suite de la discussion la valeur de 120 F/t.

Ce prix nous paraît cette fois-ci assez compatible avec une extension de la culture au delà des besoins de l'exploitation. Cela ne signifie cependant pas une ex-

tension indéfinie de cette culture au dépend de productions traditionnelles. Il est souhaitable que celle-ci reste marginale vis à vis de l'élevage, ceci afin de permettre d'effectuer les assolements nécessaires, d'écouler la production de pulpe et enfin de rester dans les capacités en main d'oeuvre de l'exploitation familiale traditionnelle (cf l'arrachage).

Signalons enfin que nous nous sommes placés dans la situation technique actuelle : or il est très vraisemblable que l'on pourra accroître les rendements. Cela rendrait le topinambour encore plus intéressant.

### C / CONCLUSIONS

#### 1) Bilan économique

Nous reprendrons ici brièvement les acquis de cette partie.

- les cultures cellulosiques, étant donné l'état d'avancement des recherches et du développement dans ce secteur, ne sont pas susceptibles de fournir de contribution substantielle avant la fin de la décennie.
- parmi les substrats pour des fermentations éthyliques et acétono-butyliques, nous avons vu ci-dessus que, quant au prix de revient de la ressource, le topinambour avait un certain avantage par rapport à la betterave.

Nous reportons ci-dessous les résultats énoncés dans l'annexe 5 :

| en F/1  | SUBSTRAT  |             |
|---------|-----------|-------------|
|         | BETTERAVE | TOPINAMBOUR |
| MBA     | 4,3 à 5   | 3,2 à 3,9   |
| ETHANOL | 3,5       | 2,6         |

En ce qui concerne l'éthanol, même en se plaçant dans le cas le plus favorable d'une substitution litre à litre avec le super carburant comme l'envisage le plan carburant, il faudrait que le prix du super soit multiplié par 1,85 pour que la substitution soit économique ; et encore ne tenons-nous pas compte du coût du tiers solvant vraisemblablement nécessaire pour éviter les phénomènes de démixtion l'hiver (la France n'est pas le Brésil).

L'autre produit nous semble plus intéressant en cela que le mélange acétono butylique (MBA) est capable de jouer un rôle de tiers solvant entre les hydrocarbures et le méthanol (cf annexe 13). En conséquence il s'agit dans ce cas d'évaluer le prix du mélange méthanol MBA.

Nous prendrons comme hypothèse :

- un mélange essence-méthanol-MBA dans les proportions 94-3-3 (cf diagramme de l'annexe 13)
- un prix du méthanol de 1,1 F/l ce qui correspond à une matière première à 6 c/th (par exemple du charbon à 400 F/t)
- un prix du MBA à 3,5 F/l

Nous obtenons un mélange méthanol MBA à 2,3 F/l ce qui est 1,5 fois le prix du litre de super carburant en 1981.

Une augmentation du prix du super d'un facteur 1,5 correspondrait à une augmentation, en prix constant, du prix du brut de 7 % pendant 6 ans, hypothèse très raisonnable, les délais (5 ou 6 ans) correspondant aux délais de mise en place des circuits de production des deux produits si les décisions sont prises sans retard.

Dans cette hypothèse, il faudrait à terme fournir 3 % du carburant avec du MBA ce qui nécessiterait 0,42 mil-

lions de tonnes de MBA ie un peu plus de 150 000 ha de topinambour.

Cela ne nous semble pas irréaliste si l'on considère le fait qu'il y a 25 ans, les surfaces cultivées en topinambour avoisinaient 150 000 ha. L'ironie du sort veut qu'à l'époque ces surfaces étaient destinées à l'alimentation du bétail et en particulier du bétail de trait.

## 2) Conditions de développement

Deux points nous paraissent devoir être soulignés.

- la possibilité d'une concurrence par d'autres produits. En effet il existe d'ores et déjà d'autres produits ayant le même pouvoir de tiers solvant que le MBA (par exemple tertio butanol et n butanol) mais étant d'origine pétrolière, ils sont condamnés à terme à ne plus être compétitifs. Mais il est parfaitement possible que dans l'avenir apparaissent des concurrents, produits à partir de charbon.

- la nécessité de structure de production et transformation locale. Une condition du développement des cultures énergétiques est que leur prix de vente ne s'écarte pas trop de leur prix de revient : l'intervention de mécanismes nationaux de fixation de prix risque de ne plus permettre d'évaluation valable et de favoriser une dérive non contrôlée des prix de vente.

Il faut de plus ajouter que l'intérêt de la filière étant lié à des considérations générales (nature de notre approvisionnement énergétique, fiabilité de cet approvisionnement) il est parfaitement possible que dans 10 ou 15 ans nous ayons une vision différente de la situation. Il faut donc d'une part pouvoir évaluer l'intérêt de cette filière à tout instant et d'autre part pouvoir faire marche arrière : cela sera facilité par une structure décentralisée de la

production.

### 3) Bilans énergétiques

Rappelons maintenant les bilans énergétiques établis en annexe 5

| en Tep / ha.an                                     | Intrants énergétiques. |                 | PCI du produit final. |
|--|------------------------|-----------------|-----------------------|
|  | Culture                | Transformation. |                       |
| -MBA ex-betterave                                  | 0,8                    | 1,3             | 1,7 à 2,1             |
| -MBA ex-topinambour<br>sans utilisation des fanes. | 0,6                    | 1,3             | 1,7 à 2,1             |
| - Avec utilisation des fanes                       | 0,8                    | 0               | 1,7 à 2,1             |

Il faut à notre avis, traiter la question en deux temps.

- a°) fabrication d'un carburant liquide à partir de carburant liquide (l'essentiel du poste culture) ou d'origine pétrolière et à partir de chaleur basse température (l'essentiel du poste transformation).
- b°) production de chaleur basse température à partir des fanes du topinambour.

En effet, contrairement à ce que pourrait porter à croire l'utilisation d'une même unité de mesure, toutes les thermies ou les tep ne sont pas équivalentes : à quoi servirait sinon de transformer du charbon en méthanol avec un rendement thermique de l'ordre de 45 % !

Si l'on considère donc le point a°), le ratio PCI produit final - carburant utilisé vaut respectivement pour les intrants énergétiques autres que carburant :

trois cas envisagés précédemment

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| MBA ex-betterave                | 0,7 à 1,5    |
| MBA ex-topinambour (sans fanes) | 0,85 à 1,15  |
| MBA ex-topinambour (avec fanes) | (très grand) |

Seuls les deux premiers ratios nous paraissent valablement comparables ; en effet, les fanes doivent être considérées comme une source de chaleur basse température. Certains ont même envisagé, pour établir la comparaison, d'utiliser dans le cas de la betterave pour la distillation la paille produite dans la région ce qui est techniquement et économiquement possible (la paille est disponible dans cette région). A ce titre, betterave et topinambour sont donc assez équivalents.

Si l'on considère le point b°), il faut alors bien évidemment récupérer les fanes quand elles sont produites. Cela nous paraît d'autant plus vrai qu'économiquement c'est un combustible assez comparable au charbon : en effet valant 120 F/t (estimation APC et avis des agriculteurs rencontrés) et environ 2000 th/t, on trouve 6cF/th ce qui correspond à un prix de charbon de 400 F/t. Techniquement il n'existe pas aujourd'hui de moyen extrêmement satisfaisant de récolter les fanes, qui doivent impérativement être séchées avant d'être stockées, mais il convient de noter qu'il faut de toutes les façons les récolter avant d'envisager d'arracher les tubercules de topinambour.

#### 4) Conclusions

En conclusion, si les fanes ne constituent pas à nos yeux un argument décisif en faveur du topinambour, il faut récupérer les fanes lorsqu'elles sont produites. Il resterait d'ailleurs à vérifier quel serait le meilleur circuit d'utilisation ; auto-consommation pour les producteurs, utilisation par la coopérative agricole, récupération par la distillerie ce qui aurait l'avantage de coordo-

ner la production et la consommation de cette énergie renouvelable.

L'avantage du topinambour par rapport à la betterave est essentiellement économique et tient pour beaucoup à des besoins en engrais et en traitements plus faibles : le topinambour est une plante rustique.

Le MBA produit à partir de topinambour peut être à moyen terme (5ans) intéressant économiquement.

Il est possible de cultiver les surfaces correspondant au MBA nécessaire à la première phase du plan carburéol.

V - PROBLEMES SOULEVES PAR L'UTILISATION DE CARBURANTS  
DE SUBSTITUTION

Nous abordons en détail ces problèmes dans l'annexe 13, nous les évoquerons plus brièvement ici.

A / LES PROBLEMES DE DEMIXTION

Rappelons que, à une température donnée, si on ajoute de l'eau à un mélange alcool (l'alcool étant de l'éthanol ou du méthanol) hydrocarbures, on provoque la séparation du liquide en deux phases, la phase inférieure contenant l'alcool. La quantité d'eau nécessaire pour provoquer le phénomène décroît avec la température. Cet inconvénient peut être pallié par incorporation au mélange d'un tiers solvant qui peut être :

- de l'alcool butylique tertiaire (TBA), du n-butanol (ces deux produits étant dès aujourd'hui disponibles mais en quantité limitée),
- un mélange d'alcools lourds produits par un procédé voisin de celui du méthanol (projet IFP)
- le mélange acétono-butylique largement évoqué au IV.

Retenons donc qu'il existe diverses solutions à ce problème, dont certaines applicables dès aujourd'hui.

Pour aborder les autres questions, il convient de distinguer deux situations :

- B / Introduction d'un faible pourcentage de produit oxygéné 5 à 10 %,
- C / Introduction d'un pourcentage plus important 30 à 50 % ou 80 à 100%.

B / PROBLEMES SPECIFIQUES DES MELANGES A FAIBLES  
TAUX D'ALCOOL

D'après l'expérience acquise en France et en Allemagne, il semble raisonnable de penser que l'introduction de faible quantité d'alcool dans les carburants ne provoquera aucun effet désagréable ni pour l'utilisateur, ni pour le distributeur :

- la conduite est peu modifiée tant que la variation de richesse du mélange carburant air varie peu.
- la consommation au 100 km est imperceptiblement modifiée. Par exemple, l'introduction de 5 % de méthanol l'augmentera de moins de 2,5 % alors que des variations de types de parcours ou de style de conduite peuvent provoquer des augmentations de l'ordre de 10 % de la consommation.
- la corrosion de certaines pièces, la modification de la géométrie d'autres pièces, à ces concentrations d'alcool, ne se fera vraisemblablement pas sentir. Dans ces conditions, il n'y a pas de modification à prévoir, ni sur les véhicules ni dans le circuit de distribution.

En conclusion, sous réserve de vérifications sur des flottes de véhicules entreprises en ce moment, il est vraisemblable que, dès qu'ils seront disponibles, des alcools pourront être incorporés à faible dose dans les carburants.

C / PROBLEMES SPECIFIQUES DES MELANGES A FORTE  
TENEUR EN ALCOOL 15-30 % OU 80-100 %

Lorsqu'on envisage d'incorporer dans l'essence des quantités d'alcool supérieures à ce que nous évoquions

précédemment, il faut alors prévoir de changer toutes les pièces entrant en contact avec le carburant et sensibles à l'action de l'alcool. Remarquons au passage que l'éthanol étant moins corrosif que le méthanol ces modifications n'interviendront que pour un taux d'incorporation supérieure ; dans les deux cas, le seuil de tolérance reste à déterminer et sera fixé à l'issue des essais sur véhicules réalisés à l'heure actuelle.

Les parties du véhicule qu'il faudrait envisager de changer sont :

- les pièces en caoutchouc ou nylon attaquées ou déformées (tuyau de conduite d'essence, flotteur de carburateur, filtre à essence, ...)
- les pièces en alliage léger tel le zamak des carburateurs,
- les réservoirs revêtus au plomb.

Si l'on reste donc dans des limites telles qu'il ne s'avère pas nécessaire de modifier le réservoir, les modifications ci-dessus sont assez limitées et l'on peut envisager d'adapter un véhicule à ce nouveau carburant pour une somme assez raisonnable. Il faut souligner qu'on n'exploiterait pas dans ces conditions une propriété intéressante des alcools qui est leur indice d'octane plus élevé : il faut pour cela augmenter le taux de compression des véhicules en changeant les pistons ou la culasse.

Les remarques ci-dessus s'appliquent au circuit de distribution mais il faut bien voir que pour une station service, changer les pièces en contact avec le carburant signifie pratiquement reconstruire un nouveau poste de distribution avec son réservoir : ce qui, étendu à une échelle nationale est relativement coûteux (environ 200 000 F par poste).

L'autre solution consiste à changer complètement de carburant et à utiliser de l'alcool pur ou presque pur. Cela suppose des véhicules dont le moteur soit spécialement conçu à cet usage et un circuit de distribution entièrement neuf. Cette solution s'adapterait parfaitement bien au cas des flottes captives et donc permettrait peut-être d'introduire plus facilement de larges quantités d'alcool sur le marché des carburants.

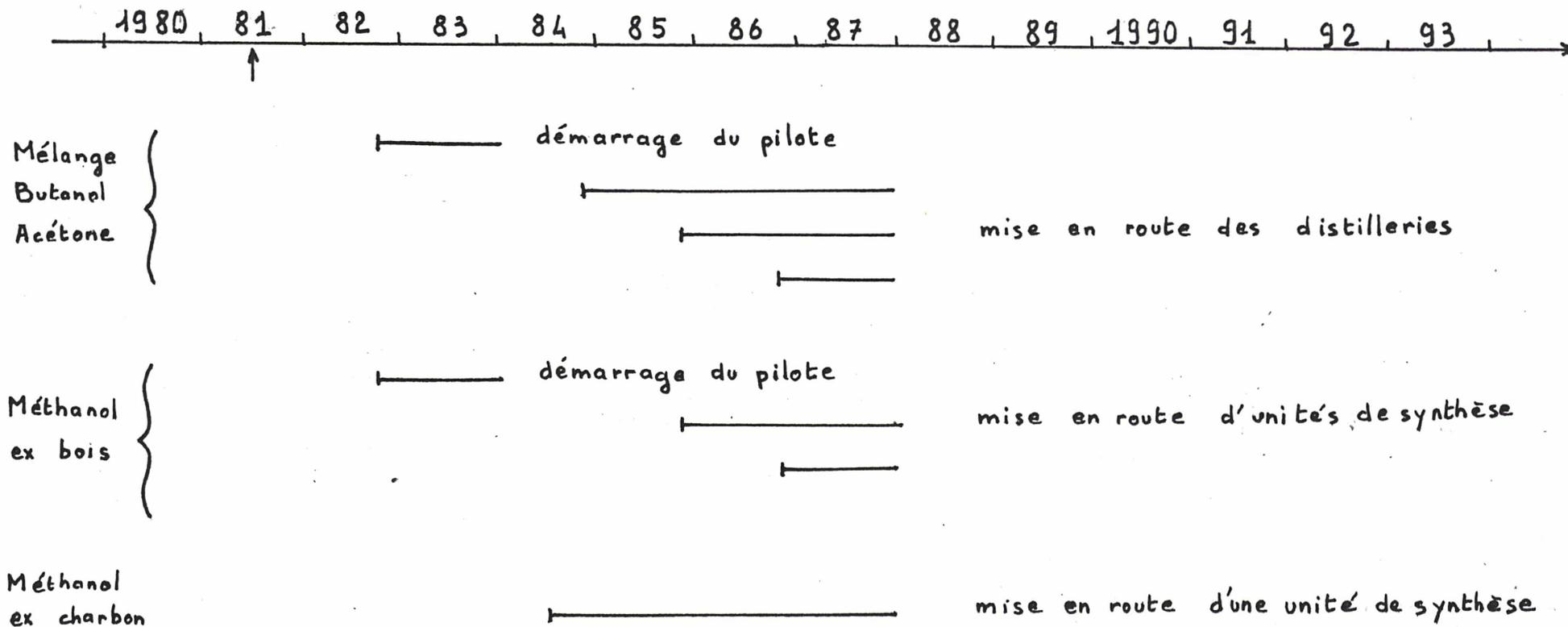
Le choix entre ces deux types de solution, mélange à forte teneur en alcool ou alcool presque pur, dépendra :

- des résultats des essais sur véhicule de divers carburants qui fixeront plus précisément l'ampleur des modifications à envisager pour chacun d'entre eux,
- des capacités de production d'alcool en France à l'époque considérée. Par exemple, l'introduction de 30 % de méthanol dans les carburants supposerait une production annuelle de 5,4 millions de tonnes de méthanol à partir d'environ 9 millions de tonnes de charbon.

Soulignons qu'il est souhaitable :

- que ce choix soit harmonisé avec ceux de nos voisins européens,
- que ce choix soit fait assez longtemps à l'avance. Rappelons que la construction d'une usine de synthèse de méthanol à partir de charbon nécessite deux à trois ans et que la mise au point d'un nouveau moteur, de la conception à la production en chaîne, nécessite au moins 5 ans.

# Un scénario de développement de la production de carburant à partir de biomasse



## VI - LES GRANDES OPTIONS

### A / LE SCENARIO DE REFERENCE

Afin d'avoir une vision d'ensemble des problèmes en suspens et des possibilités ouvertes, nous allons essayer d'établir un échéancier type de développement de capacités de production de carburant de substitution. Notre prétention n'est pas de tracer un programme mais d'évaluer le délai minimum de création de ces capacités si aucun obstacle d'ordre technique ou économique ne se manifeste et s'il existe une volonté politique (voir tableau ci-contre)

(Nous avons supposé qu'aucune réalisation de pilote ne sera nécessaire préalablement à la construction de l'unité de synthèse de méthanol ex-charbon).

Il apparaît donc dans ces conditions que des quantités significatives de carburant de substitution ne seront produites qu'en 1986.

#### 1) Le mélange de référence

Afin d'évaluer l'impact et la vraisemblance économique de ce scénario, nous définirons un mélange de référence :

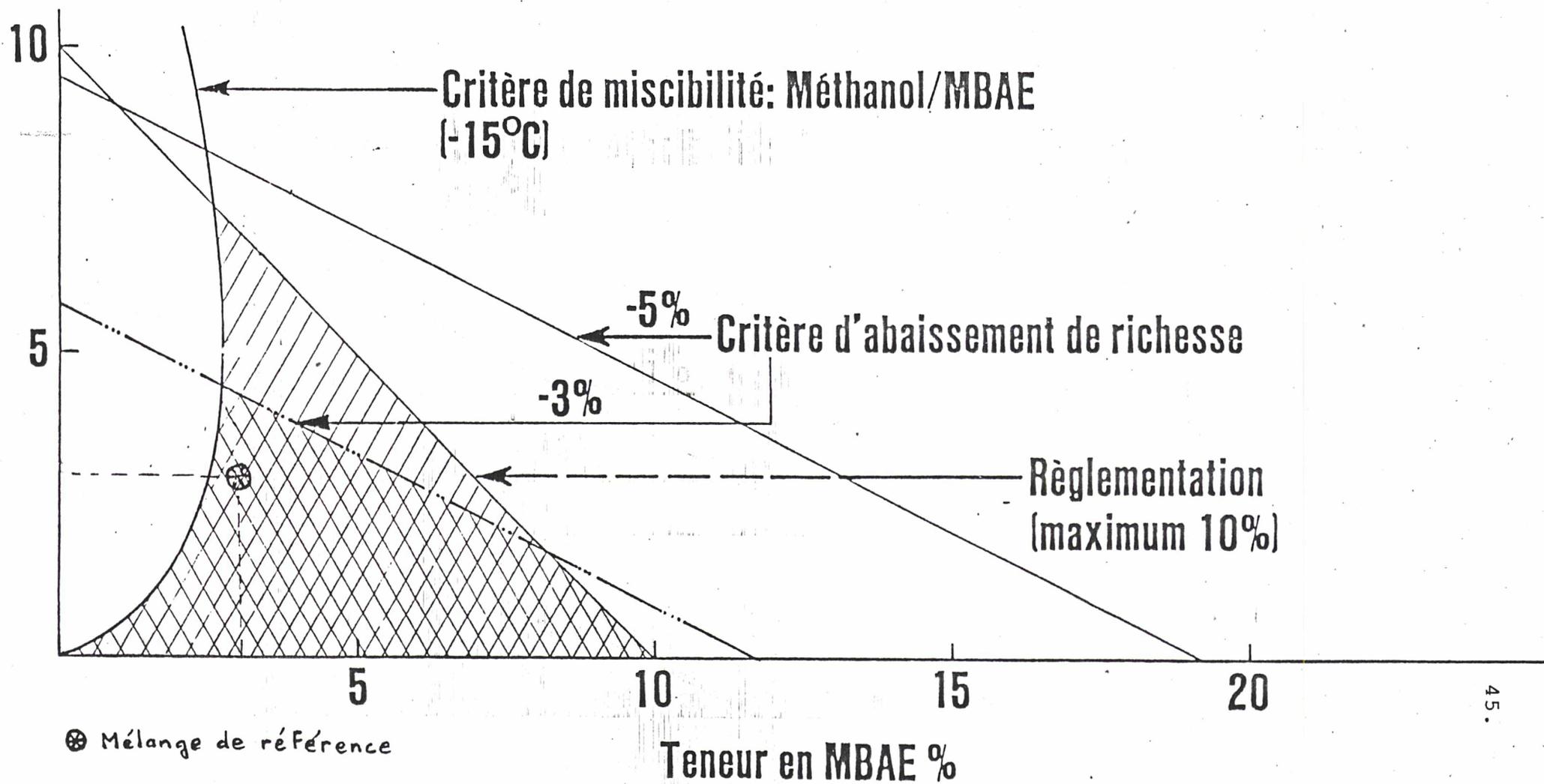
- 94 % d'hydrocarbures
- 3 % de méthanol,
- 3 % de mélange acétono-butylque (MBA).

Ceci correspond à une solution acceptable aux problèmes de démixtion, de richesse du mélange carburant-air (voir diagramme ci-contre). Nous supposons par là même que l'on aura vérifié d'ici là qu'aucun phénomène de corrosion rédhibitoire n'est provoqué par un tel mélange (ce que l'expérience allemande laisse espérer).

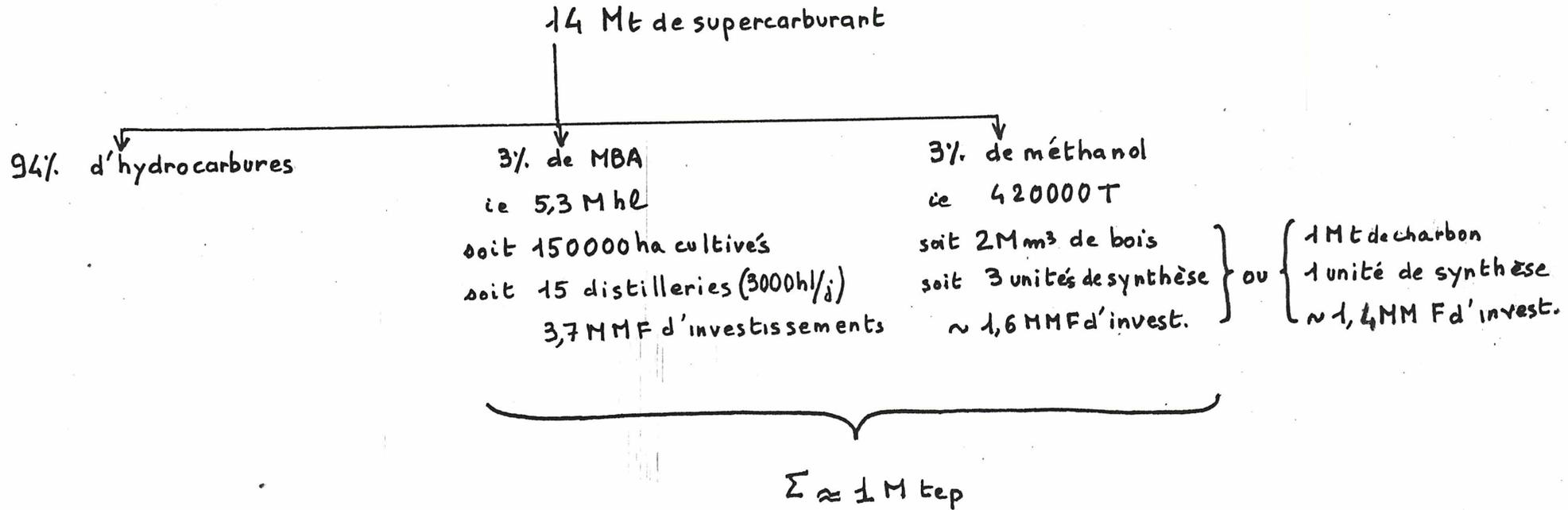
# RECHERCHE DE TYPES DE COMPOSITIONS POSSIBLES

## SYSTEMES SUPERCARBURANT - METHANOL - MBAE

Teneur en méthanol %



# Apport de la biomasse dans le scénario de référence



## 2) Rentabilité économique

Nous allons comparer le prix du mélange méthanol MBA au supercarburant. Nous obtenons avec les proportions indiquées au 1°) 2,3 F à 2,4 F par litre ce qui est 1,5 à 1,6 fois le prix du supercarburant aujourd'hui. Or cette différence serait comblée si l'on suppose une augmentation du prix du pétrole brut de 7 à 8 % en francs constants pendant 6 ans, ie pour 1987 date à laquelle les 6 % de carburant ex-biomasse pourraient être produits. Cette hypothèse de dérive des prix du pétrole semble raisonnable et correspond au scénario envisagé par la commission Energie du VIIIème plan.

## 3) Impact économique

Nous allons évaluer l'impact provoqué par la réalisation du scénario décrit ci-dessus (voir tableau ci-contre).

La consommation de supercarburant en 1985 est estimée à environ 14 Mt.

Le remplacement de 3 % des carburants par du MBA ex-topinambour représente la production de 5,3 millions d'hl (la production actuelle d'éthanol ex-biomasse est de 2,5 millions d'hl). Cela correspond à 150 000 ha cultivés en topinambour, ie la situation observée en 1959.

Le remplacement de 3 % des carburants par du méthanol suppose la production de 420 000 t de celui-ci. Ceci peut être obtenu :

- soit par la construction de 3 unités de synthèse consommant chacune près de 700 000 m<sup>3</sup> par an de bois ce qui semble être un maximum étant donné l'état actuel de la forêt française.

- soit par la construction d'une unité de synthèse à partir de charbon consommant près d'1 million de tonnes par an. Cette unité pourrait être située dans une région

productrice et n'utiliser que du charbon national.

Les investissements représentent :

- pour le mélange acétonobutylique environ 15 distilleries (3000 hl de capacité journalière) valant 200 à 250 MF soit 3 à 3,75 milliards de F.

- pour le méthanol dans les deux cas environ 1,5 milliards de F.

Ces investissements sont relativement importants et peuvent par exemple être comparés aux investissements d'adaptation de l'outil de raffinage français évalués à 2 ou 3 milliards de F par an pendant les dix années à venir.

#### B / CONDITIONS DE REALISATION DU SCENARIO

##### 1) Conditions économiques

###### a) cours des matières premières

Nous avons adopté au cours de cette étude des prix de référence pour le charbon de 400 F/t et pour le bois de 400 F/t de matière sèche, prix observés aujourd'hui : quelle dérive de prix peut-on prévoir ?

Il est à prévoir une augmentation du prix du bois. En effet :

- étant donné l'augmentation de la demande (pour le bois de feu surtout) on aura tendance à aligner son prix sur celui des matières premières énergétiques (surtout dans l'esprit des particuliers). De plus on sera amené à exploiter des zones d'accès plus difficile, ce qui se répercute au niveau des prix.

- ces tensions sur le prix du bois ne sont d'ail-

leurs pas particulières à la France et l'on prévoit une pénurie mondiale sur le bois commercialisé pour la fin du siècle.

Les évolutions à terme du prix du charbon sont plus difficiles à cerner. En effet les ressources mondiales sont considérables mais l'on peut relever quelques facteurs susceptibles de provoquer des hausses de prix :

- la ressource est très concentrée (essentiellement aux U.S.A., en U.R.S.S., en République Sud Africaine, en Australie) et des conditions d'ordre politique peuvent rendre inaccessibles certains gisements de charbon.

- il y a actuellement pénurie de moyens de transports (bateaux, ports charbonniers,...) et il est possible, étant donné l'importance des investissements, qu'il n'y soit pas remédié à temps.

Remarquons d'ailleurs que le prix du charbon sur le marché français peut être aussi fortement influencé par des considérations d'ordre politique visant à favoriser des gisements nationaux.

Ce dernier point met l'accent sur le caractère profondément artificiel des prix (pour l'utilisateur) de l'énergie en France : ils résultent pour une bonne part de la politique énergétique adoptée et le choix entre les filières, méthanol ex-bois ou méthanol ex-charbon, dépend très clairement de cette politique. Nous aborderons les problèmes de coût de matières premières agricoles dans le 2°).

#### b) Concurrence d'autres carburants oxygénés

Si l'on introduit du méthanol dans les supercarburants, nous avons vu au V qu'il faut nécessairement l'adjonction d'un tiers solvant : nous avons vu au IV que le

mélange acétonobutylique est un excellent candidat.

Il existe aujourd'hui d'autres produits (tertio-butanol, nbutanol) pouvant jouer ce rôle de tiers solvant, mais, étant des produits pétroliers, ils sont, à terme, soit en quantité limitée (si ce sont des sous-produits) soit trop chers (par exemple le n-butanol vaut aujourd'hui 2,8 F/l)

Par contre il est très réaliste d'imaginer la production de ces compatibilisants à partir de charbon. L'IFP étudie par exemple la production d'un mélange 85 % méthanol, 15 % d'alcools supérieurs directement à partir de charbon. Ce mélange requerrait beaucoup moins de tiers solvant. D'autres projets sont à l'étude chez différents pétrochimistes. Il s'agit donc d'une menace réelle.

### c) Considérations stratégiques

Nous avons cherché au cours des chapitres précédents à déterminer quelles étaient les filières techniquement et économiquement réalisables. Nous avons déjà souligné au a) de ce paragraphe que la condition de faisabilité économique n'était totalement explicitable que si l'on fixait le prix de toutes les matières premières énergétiques ce qui n'était en dernier ressort possible que dans le cadre d'une politique énergétique donnée : il n'est pas possible d'éluider la notion d'intérêt stratégique de ce débat. Cela apparaît plus clairement encore lorsqu'on cherche à cerner le sens de l'expression "intérêt stratégique" ; on peut l'entendre d'au moins deux façons différentes :

- minimale. Il s'agit de ne pas dépendre pour une matière première donnée d'un seul producteur. L'objectif est donc de diversifier les sources d'approvisionnement et pour accroître notre marge de manoeuvre, de réduire si possible la consommation ; il importe alors peu de savoir si le pétrole a été économisé sur les carburants ou le chauffage domestique. Dans ce cas une hausse du prix des produits pétroliers

doit suffire à provoquer la reconversion nécessaire et cela dans le secteur où elle est la plus facile.

- maximale. Il s'agit de pouvoir faire face à une réduction importante de nos importations de pétrole de telle sorte qu'on ne puisse plus satisfaire nos besoins en carburants et en produits pétrochimiques même compte tenu de la substitution des autres usages du pétrole. Dans ce cas la production nationale de carburants (méthanol ex-bois, MBA ex-topinambour) aurait un intérêt tout particulier.

La première acception du terme suppose implicitement un niveau de production mondial de pétrole constant ou faiblement décroissant. Or si les producteurs de pétrole décidaient de ne plus extraire que la quantité nécessaire à leurs besoins financiers immédiats, nous risquerions en fait de voir nos importations réduites très fortement. Ainsi il n'est pas obligatoire de supposer des crises mondiales, des conflits armés, pour donner un sens à la deuxième acception du terme.

Il n'est pas dans nos intentions de définir une stratégie énergétique pour la France mais nous retiendrons que les considérations d'indépendance énergétique peuvent avoir un poids suffisant pour passer outre les différences de prix que nous avons relevées.

## 2) Conditions de développement des cultures énergétiques.

Nous rappellerons brièvement ici les conclusions du IV.

Il n'y a pas d'obstacle majeur au développement de cultures énergétiques dès qu'elles s'avèreront économiquement rentables. Il nous paraît cependant important d'insister sur la souplesse que devront garder les structures mises en place et cela pour trois raisons :

- afin de faciliter l'insertion de ces cultures dans des exploitations agricoles. Cela est nécessaire afin de valoriser au mieux : les sols utilisés, les sous produits (fanés, pulpes, fumiers,...).

le travail des exploitants.

- pour éviter que le prix de vente des matières premières ne dérive inconsidérément. Le prix de vente observé aujourd'hui pour le topinambour semble proche du prix de revient car c'est un prix de marché. Par contre, si l'interlocuteur de l'agriculteur est l'Etat, les arguments échangés deviennent par définition même politiques. Donc même si l'on veut développer pour des raisons d'ordre stratégique certaines de ces filières malgré un certain handicap économique, il reste souhaitable de conserver des structures locales où le producteur est confronté à l'utilisateur afin de connaître le surcoût éventuel lié à l'utilisation de carburants produits à partir de biomasse.

- pour permettre un changement d'orientation si d'autres filières s'avèrent plus intéressantes. Nous avons souligné tout au long de cette étude le caractère très évolutif de données techniques dans ce domaine. Or l'agriculture n'est pas très coutumière des reconversions, fréquentes dans le secteur industriel. Il importe de veiller donc, dès le départ, à ne mettre en place que des structures adaptables.

### 3) Avenir des filières étudiées

Nous nous sommes placés dans le scénario de référence implicitement dans le cadre de la première phase du plan carburant, ie sans modification du parc automobile ni du réseau de distribution.

Si l'on envisage un développement ultérieur

- en ce qui concerne le méthanol ex-bois, nous avons au II que la ressource est assez limitée et les 3 %

envisagés au A/ semblent constituer un maximum pour la forêt française dans son état actuel.

- en ce qui concerne le MBA, il faut remarquer que, d'une part, il est inutile d'en mettre plus de 4 % quelle que soit la quantité de méthanol ou d'éthanol utilisée et d'autre part il n'y a pas besoin de tiers solvant si l'on utilise des alcools purs.

En conséquence les deux filières que nous avons retenues représentent au maximum 1,4 millions de tep (à comparer à 1 million de tep obtenu dans le scénario de référence).

#### 4) Conclusions

D'ici 1990, il nous paraît donc, sous certaines hypothèses, possible de produire 1 à 1,4 millions de tep de carburants liquides ex-biomasse.

Ceci est non négligeable surtout si l'on considère l'intérêt stratégique de la production nationale de carburants.

Cependant cela reste faible par rapport à la totalité des carburants liquides (environ 20 millions de tep pour les seuls carburants automobile).

Il faut aussi souligner que cet apport reste aussi faible par rapport à la contribution de la biomasse sous forme de chaleur basse température : rappelons qu'aujourd'hui le bois de feu représente 2 à 3 millions de tep et l'on peut espérer que l'exploitation des déchets agricoles ou forestiers (énumérés au II) pourrait fournir de l'ordre de 10 millions de tep.

#### C / PERSPECTIVE A PLUS LONG TERME

Les résultats dégagés au B/ concernant le court

terme (ie la décennie à venir) sont relativement modestes. On peut se demander si le jeu en vaut la chandelle et s'il est judicieux de mettre en place tout un appareil de production et de transformation (environ 5 milliards de F d'investissements) pour un résultat aussi modeste. Il paraît donc souhaitable de chercher à apprécier les potentialités offertes à plus long terme par la biomasse.

Dans un premier temps nous examinerons de quelles façons on peut envisager d'augmenter la part des produits oxygénés dans les carburants. Puis nous chercherons à évaluer la biomasse disponible.

#### 1) Quelques prolongements du scénario de référence

On peut envisager plusieurs stratégies :

- a) l'augmentation du taux de produits oxygénés dans les carburants,
- b) la création de flottes captives utilisant des alcools purs,
- c) la création de flottes captives utilisant d'autres carburants de substitution.

#### a) l'augmentation du taux de produits oxygénés

Rappelons qu'il faut dans ce cas envisager des modifications aux véhicules (de l'ordre de 2 à 3000 F) et qu'il faut créer un réseau de distribution spécial (200 à 250 000 F par pompe). (Nous supposons ici que les problèmes de détérioration du revêtement intérieur des réservoirs pourront être surmontés).

Cette solution permet d'accroître la part des carburants de substitution, mais elle n'apporte aucune amélioration sur le plan stratégique. En effet, en cas de pénurie d'hydrocarbures, les véhicules ne seront pas bien adaptés pour rouler à l'alcool pur (bien que ceci ne soit pas

totalement inenvisageable).

b) Flottes captives utilisant de l'alcool pur

Cette solution nécessite des véhicules spécialement conçus à cet effet (au taux de compression plus élevé afin d'exploiter le haut indice d'octane des alcools).

Elle a cependant l'avantage par rapport à la précédente de nécessiter des investissements plus faibles au niveau du circuit de distribution, de permettre une mise en place progressive du système, de créer un parc de véhicules réellement indépendants des problèmes d'approvisionnement en hydrocarbures.

Cette solution ne correspondrait au maximum qu'à 5 % des carburants utilisés et par conséquent à un objectif limité.

c) Flottes captives utilisant d'autres carburants

On peut en effet imaginer d'autres filières ; nous en citerons deux à titre d'exemple.

L'utilisation du gazogène sur des camions. Des essais sont entrepris aujourd'hui pour adapter la technologie développée durant la dernière mondiale (projet CALBERSON). Si certains problèmes techniques sont résolus (sort des goudrons, maintien de la puissance du véhicule), on pourra envisager la création d'un réseau de distribution de bois sur les grands axes routiers. Il faut cependant signaler que cela ne peut concerner, compte tenu des disponibilités actuelles en bois, qu'une faible partie du parc de camions : 1 million de m<sup>3</sup> de bois correspondrait à environ 1% des dix millions de tonnes de gazoil consommés actuellement en France.

L'utilisation d'huile végétale. Les huiles végé-

tales, après traitement, peuvent être utilisées dans des moteurs diesel (par exemple des tracteurs). Un hectare de colza pourrait ainsi fournir une tonne d'huile (ie environ une tep) ainsi qu'une tonne de tourteaux destinés à l'alimentation du bétail et 3 tonnes de paille. Cette filière aurait donc l'avantage de fournir à la fois du carburant, des combustibles et des aliments pour bétail (riches en protéines), produits largement importés aujourd'hui.

Nous retiendrons donc qu'il existe (sous réserve de vérification expérimentale) un certain nombre de filières susceptibles de fournir à des flottes limitées des carburants ex-biomasse et méritant d'être étudiées plus profondément.

## 2) Evaluation de la ressource

Evaluer maintenant quel tonnage de biomasse pourra être disponible dans une dizaine d'années est très délicat.

### a) Incertitude sur les techniques

Nous avons signalé un certain nombre de filières (liquéfaction, hydrolyse enzymatique, gazogène, utilisation d'huile végétale) dont il est difficile de dire aujourd'hui si elles seront techniquement et économiquement réalisables. L'étude des filières de transformation de la biomasse a connu un renouveau depuis 1973 ; le sujet est en conséquence très évolutif. Il faut donc s'attendre dans les années à venir à l'émergence de filières non détectées dans cette étude.

### b) Incertitude sur les ressources

Il est extrêmement difficile de chercher à évaluer les ressources à priori ie sans spécifier la filière de production envisagée : nous allons illustrer cette difficulté sur l'exemple du bois.

Rappelons à cet effet l'évaluation faite en annexe 7 des ressources en bois. On obtient au départ un ordre de grandeur de 30 millions de m<sup>3</sup>.

Ces chiffres sont entâchés d'une forte erreur sur le plan quantitatif :

- une marge d'incertitude de 10 millions de m<sup>3</sup> due à des difficultés d'actualisation des données sur les taillis,

- il faut déduire l'auto-consommation de bois de feu totalement négligée quelques années auparavant et évaluée aujourd'hui à 10 millions de m<sup>3</sup>.

Toute aussi importante est l'erreur sur le plan qualitatif :

- cette évaluation additionne des taillis de nature très différente. Ainsi dans la région Rhône-Alpes, une part notable des taillis recensés est-elle sur des sols très pentus, rendant l'exploitation difficile.

- lorsqu'on envisage l'installation d'une usine de synthèse de méthanol, on doit s'imposer une certaine densité de la ressource pour que le coût de transports ne soit pas prohibitif. 3 régions alors semblent convenir, correspondant à 2 millions de m<sup>3</sup>.

Soulignons que cette évaluation dépend fortement de la filière choisie : si l'on avait choisi une utilisation dans des gazogènes montés sur camion, le facteur limitant n'aurait plus été le rayon d'approvisionnement d'une unité centrale mais la capacité d'alimentation d'un réseau de stations réparties sur les grands axes routiers. Il ne s'agit plus en fait de la même ressource (les deux projets pourraient par exemple coexister).

Entre l'évaluation a priori et l'évaluation faite

une fois spécifiée la filière envisagée, il peut y avoir plus d'un facteur 10 de différence.

De même est-il extrêmement difficile de chiffrer l'apport des terres libérées par l'agriculture. Rappelons que la productivité de l'agriculture augmentant régulièrement depuis trois décennies, on prévoit que, sauf accroissement notable de nos exportations, 1 à 2 millions d'hectares aujourd'hui cultivés seront abandonnés par l'agriculture.

Pour déterminer le potentiel de ces terres, il faut spécifier l'usage qu'il pourra en être fait : cultures énergétiques (topinambour, canne de provence, colza, ...) taillis à courte rotation. Chacune de ces cultures requiert des conditions pédologiques, climatiques, techniques bien spécifiques. Il faut de plus tenir compte des problèmes d'insertion dans l'exploitation agricole (problèmes variant d'un mode d'agriculture à l'autre). Cela signifie que seule une partie des terres libres pourront être affectées à une culture donnée. Chacune de ces contraintes se traduira au plan économique par un accroissement du prix seuil (prix incitant l'agriculteur à pratiquer la culture considérée) et reculera la date à laquelle il deviendra intéressant de développer cette culture.

En conclusion, indépendamment de choix globaux (politique énergétique, sort des surplus agricoles, ...) il existe une forte incertitude sur la disponibilité réelle en biomasse. Pour tenter une comparaison, nous pourrions dire qu'il y a la même différence entre évaluation à priori et évaluation dans le cadre d'une filière donnée qu'entre les notions de ressources potentielles et ressources prouvées dans le domaine pétrolier, avec cette circonstance aggravante que la biomasse n'est pas récupérée mais produite.

c) La biomasse peut-elle satisfaire nos besoins en carburants liquides ?

Malgré toutes les remarques faites au paragraphe précédent démontrant la faible fiabilité des évaluations à priori, on peut être tenté de chercher à chiffrer quel peut être l'apport de la biomasse à une production nationale de carburant à long terme.

Se basant sur nos bilans détaillés des deux filières MBA ex-topinambour et méthanol ex-bois (cf annexes 4 et 5), on peut, avec quelques hypothèses sur les valeurs d'usages (1 l d'éthanol = 0,9 l d'essence et 1 l de méthanol = 0,7 l d'essence), établir les chiffres suivants :

- 1 ha de taillis à courte rotation peut produire l'équivalent de 3 t de carburant par an,
- 1 ha de topinambour peut produire annuellement l'équivalent de 2 t de carburant.

Si l'on suppose que :

- suite à l'accroissement de la productivité de l'agriculture, 1 % des terres seront libérées annuellement, ie 3,4 Millions d'ha d'ici 20 ans cela permettra la production de l'équivalent de 6,8 millions de t de carburant

- d'ici 20 ans 3 millions d'ha de taillis mal valorisés et de landes seront convertis en taillis à courte rotation (cela représente environ 20 % de la superficie de la forêt actuelle) ; on pourra alors produire l'équivalent de 9 millions de tonnes de carburants.

Soit un total de 16 millions de tonnes de carburants c'est à dire à peu près la moitié de la consommation des carburants (auto + diesel).

La réponse à la question posée dans le titre de ce paragraphe semble être affirmative : il est "théorique-

ment" possible de concevoir la production de la moitié carburants à partir de biomasse et de créer ainsi une véritable indépendance.

Mais une telle manière de calculer ne tient pas compte :

- de la concurrence sur la matière première et les sols,

- des problèmes d'insertion dans une structure d'exploitation aussi bien d'un point de vue technique qu'économique.

Et la prise en compte de ces facteurs, impossible à faire correctement aujourd'hui, peut nous conduire à réduire le total obtenu de 16 millions de tonnes d'un facteur 5 ou 10 ! (cf b)

Il ne nous semble donc pas possible d'apporter de réponse à si long terme qui soit pertinente, ie permettant d'orienter des décisions prises aujourd'hui.

## D / CONCLUSIONS

Au terme de cette étude, deux types de conclusions peuvent être tirées :

- à moyen terme il semble possible de produire, dans des conditions économiquement satisfaisantes, des quantités appréciables de carburants à partir de biomasse (environ 1 million de tep). Il s'agit essentiellement de la production de mélange acétonobutylique à partir de topinambour et de méthanol à partir de bois.

- à plus longue échéance il est impossible de faire des prévisions précises. Nous nous bornerons à deux types de recommandations :

- il paraît intéressant de développer des techniques de valorisation de la biomasse (et pas seulement en vue de synthétiser des carburants liquides),
- il importe de ne mettre en place que des structures souples, évolutives, capables d'être modifiées en fonction des évènements qui ne manqueront pas de se produire dans la décennie à venir.

## BIBLIOGRAPHIE

- Association Française des Techniciens du Pétrole : compte rendu de la "Journée d'étude sur l'utilisation d'alcools et d'éthers dans les carburants" Janvier 1981.
- ARLIE J.P., VANDECASTEELE JP, LEPRINCE P. : "Economics of a process of production of alcohol fuels by enzymatic hydrolysis and fermentation of cellulosic substrates" IFP Octobre 1980.
- BERTIN (Société) "Production d'alcool d'origine végétale" de MM BLANCHE P., HACHE J, de TURKHEIM N. Juin 1975.
- CERNA : "Evaluation économique d'ensemble des effets d'un développement du bois énergie" par Mlle PEGURET A. et M. LEVEQUE F. Juin 1981.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DE LA HAUTE VIENNE "Une estimation du prix de revient d'un hectare de topinambour" Mai 1981.
- CNEEMA - "Les travaux et avis du CNEEMA sur la valorisation énergétique de la biomasse" Février 1980.
- COMBELLES A : "production d'alcool d'origine agricole : cas du topinambour" APC et ESAP - Juin 1981.
- COMES : "Etudes et recommandation pour l'exploitation de l'énergie verte" Mai 1980.
- C.T.F.T. "Les forêts tropicales et l'énergie".
- C.S.C.A. "Problèmes techniques que poseraient en utilisation l'alimentation des moteurs des véhicules par des

mélanges d'essence et de méthanol".

DUMON R. : "Le renouveau du charbon" dans les objectifs scientifiques de demain - ed. Masson.

DUMON R. : 20 procédés de valorisation chimique du bois. par HEURTEY à la demande de la D.E.M.P.

FOFANA : "Premiers éléments d'une étude de marché sur la gazéification du bois" Novelerg - C.G.E. Alsthom.

DE GAUDEMARIS, LEPRINCE P. "La fermentation acétono-butylique" Mai 1981.

INSEE "Les comptes de l'agriculture française en 79" dans les collections de l'INSEE (C 88)

SCHWOB Y. : "Bois et charbon de bois : chimie et économie de la carbonisation" ENSMP

Compte-rendu du 9° congrès national du pétrole, Vichy Mai 1981 et en particulier de la table ronde sur "Les carburants de substitution" animée par MM LEPRINCE P. et GUIBERT J.P. de l'IFP.

S.C.E.E.S. : Ministère de l'Agriculture "Recensement général de l'agriculture 79-80" "Enquête sur les activités sylvicoles des exploitations agricoles 1977".

Hebdomadaire "La France Agricole" 20 février 1981 n° 1860, La culture de l'arbre. "Les petites parcelles boisées sont rentables pourvu que nous les aménagions" article de M. HUBERT.

MINISTERE DE L'INDUSTRIE : "Les chiffres clés de l'énergie 1980".

VIII° Plan - Documentation Française. Rapport des commissions énergie-matières premières, et agriculture.

SYNDICAT DES FABRICANTS DE PATES A PAPIER - "Rapport à l'Assemblée Générale 1980".

MINISTERE AGRICULTURE - Bulletin Technique d'information n° 299 mai 1975 "La canne de Provence".

ASSOCIATION FORET CELLULOSE - Mensuel "Information Bois"

A.F.E.D.E.S. - cahier n° 6 "Introduction à la bioconversion de l'énergie solaire" par P. CHARTIER INRA.

COLLOQUE INTERNATIONAL DU CENECA - Agriculture et Energie 1980 - "Une exploration de l'intérêt économique de deux utilisations énergétiques des pailles : le chauffage domestique et le séchage du maïs" par JC SOURIE et PA JAYET - INRA.

CHAMBRE SYNDICALE DES CONSTRUCTEURS D'AUTOMOBILES - Statistiques 1980.

## LISTE DES PERSONNALITES RENCONTREES

M. ARLIE Direction de l'Economie et de l'Evaluation,  
I.F.P.

M. BELOTTE DIMME/TR, Ministère de l'Industrie.

M. BLAIZOT Mission énergie, Ministère de l'Agriculture

M. BOUDOYAN Centre de recherche de Solaise, IFP

M. BEHAGLE Directeur technique de la Chambre Syndicale  
des Constructeurs Automobile

M. CANETTI DIMME/TR, Ministère de l'Industrie,

M. CHAPOU U.T.A.C.

M. CHARTIER Centre de Versailles INRA

M. CLAIR D.I.C.T.D. Ministère de l'Industrie

M. COUDRIOU Syndicat des fabricants de panneaux à base  
de bois.

M. COURTENAT Creusot Loire Entreprise

M. DELEGUE Syndicat des Producteurs de topinambour  
du Limousin.

M. DUMON Creusot-Loire

M. FASCHE Compagnie Française de Raffinage

M. FONTANILLAS COPAR, Coopérative agricole du Limousin  
Inspection Régionale Agronomique du Limousin

M. GLOECKNER DIMME/TR, Ministère de l'Industrie

M. HAUET Novelerg

M. JOYEUX Service des Alcools - Ministère du Budget

M. LEPRINCE Direction de l'Economie et de l'Evaluation,  
I.F.P.

M. LEROUDIER Confédération générale des planteurs de  
betteraves, A.I.B.A.

M. LEVEQUE CERNA, ENSMP

M. MICHAUX Direction Départementale de l'Agriculture  
de l'Isère

M. MONZIE Centre Technique du Papier, Grenoble

M. MOLLE C.N.E.E.M.A.

M. NIERAT Centre Technique du bois

M. PANNIER S.E.M.P. Ministère de l'Industrie

Mlle PEGURET CERNA, ENSMP

M. PEIRANI D.I.C.T.D. Ministère de l'Industrie

|               |   |
|---------------|---|
| M. PETROFF    | Centre Technique des Forêts Tropicales                          |
| M. PINCHOT    | Mission énergie - Ministère de l'Agriculture                    |
| M. PIGANEAU   | Mission carburant de substitution, SNEA                         |
| M. PLATEAU    | S.N.E.A.  |
| M. PREVOST    | Délégué de massif forestier pour le Sud<br>Ouest                |
| M. RENAUD     | IFP   |
| M. SOURIE     | INA Centre de Versailles Grignon                                |
| M. TOURLIERES | Union Nationale des Groupements de Distil-<br>lateurs d'Alcools |
| M. TOUZE      | AFOCEL (Association forêt-cellulose)                            |
| M. TISSIER    | Syndicat des fabricants de pâte à papier.                       |

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Marché de l'essence et de l'automobile.
- Annexe 2 : Caractéristiques et enseignements de quelques expériences étrangères.
- Annexe 3 : Le Plan Carburant de Substitution.
- Annexe 4 : Méthodes de transformation de la biomasse :  
Voies sèches.
- Annexe 5 : Méthodes de transformation de la biomasse :  
Voies humides .
- Annexe 6 : Données générales sur l'utilisation du territoire, la biomasse produite, la biomasse disponible.
- Annexe 7 : Le bois : ressources disponibles.
- Annexe 8 : Les cultures énergétiques cellulosiques.
- Annexe 9 : Les cultures énergétiques agricoles.
- Annexe 10 : Les forêts tropicales.
- Annexe 11 : Situation actuelle des marchés du méthanol et de  
d'éthanol. Perspectives.
- Annexe 12 : Problèmes soulevés par l'utilisation de produits oxygénés dans les carburants.

de reprise à la raffinerie, des frais de distribution et de transport, et des droits, taxes et redevances. Au titre de ces droits taxes et redevances on compte :

a) La taxe intérieure sur les produits pétroliers (T.I.P.P.) Elle frappe tout particulièrement les carburants : en 1978, elle provenait pour 77,6 % des essences de pétrole, pour 15,9 % du gas oil et pour seulement 6,5 % des autres produits pétroliers. Elle est d'environ 130 F/hl pour l'essence 140 F/hl pour le super, 75 F/hl pour le gas oil, 14 F/hl pour le F.O.D.

b) Les droits de douane sur les importations de produits finis hors C.E.E.

c) la redevance au Fonds de Soutien aux Hydrocarbures : de l'ordre de 1 F/hl sur le super et l'essence, ne s'applique pas au F.O.D. et au gas oil.

d) la TVA 17,6 % perçue en deux étapes (administration des douanes et administration des contributions indirectes).

e) le timbre douanier 2 %,

la taxe parafiscale au profit de l'Agence pour les Economies d'Energie,

la redevance à l'Institut Français du Pétrole : de l'ordre de 0,40 F/hl pour le super, essence de F.O.D., 0,30 F/hl pour le gas oil.

C'est la T.I.P.P. qui fournit la majeure partie des taxes frappant les produits pétroliers. Le montant total des taxes sur l'essence, le super, le gas oil et le gaz carburant s'est élevé en 1978 à 43,8 milliards de francs (taxe intérieure, timbre douanier, F.S.H., redevance douanière et TVA) dont 77 % de T.I.P.P.

### III - EVOLUTION DU MARCHE DES CARBURANTS

Comme on l'a vu, c'est un marché qui reste en expansion malgré le redressement des prix du pétrole. Toutefois on constate une modération de la demande pour les carburants automobile depuis fin 76. Mais la consommation de carburants automobile n'est pas très élastique. Le tableau 3 montre l'évolution de la demande en carburant depuis 1973.

### IV - MARCHE DE L'AUTOMOBILE - TENDANCES.

Le parc automobile français comptait au 1<sup>er</sup> Janvier 1980, 21 millions de véhicules dont 18 de voitures particulières et commerciales, 2 de véhicules utilitaires et 1 d'autocars, autobus et tracteurs routiers. Il était en augmentation de seulement 4 % par rapport à 79.

Pour mémoire, le parc automobile "tous véhicules 4 roues et plus" compte pour 24 % de la consommation de produits pétroliers (dont 14 pour les voitures particulières).

On assiste aujourd'hui à un tassement de la demande mondiale en baisse de 10 % en 1980 par rapport à 1979. De plus, les marchés des pays industrialisés sont devenus des marchés de renouvellement, sensibles à la conjoncture ; mais ils devraient continuer à croître en moyenne à l'avenir à un rythme voisin de 2 %. La France a été moins durement touchée que la plupart des autres pays au niveau de la production et du marché intérieur.

|                 | PRODUCTION 1980/79 | MARCHE INTERIEUR<br>1980/1979 |
|-----------------|--------------------|-------------------------------|
| FRANCE          | - 8,8 %            | - 5,2 %                       |
| R.F.A.          | - 10,5 %           | - 7,5 %                       |
| GRANDE BRETAGNE | - 12 %             | - 13,6 %                      |
| C.E.E.          | non connu          | - 5,1 %                       |
| ETATS UNIS      | - 24,2 %           | - 15,7 %                      |

Les niveaux atteints en 1980 par la production (2,9 millions de véhicules) et le marché français (1,9 millions) restent légèrement supérieurs à ceux de l'année 1973 (respectivement + 2,5 % et + 7,2 %).

Depuis les années 73-74, la diminution de la consommation en carburant des véhicules est une des préoccupations majeures des constructeurs automobiles. La moyenne des consommations conventionnelles des voitures produites en France et vendues dans la C.E.E. a effectivement baissé de façon significative.

| 1976 | 1978 | 1979 | 1980 (estimé) |                   |
|------|------|------|---------------|-------------------|
| 8,66 | 8,24 | 8,12 | 8,0           | en litres/100 km. |

Un premier objectif à atteindre est la réduction de cette moyenne à 7,5 l/100 km en 1985, puis 6 l/100 km en 1990. Le programme Eve et Vera de véhicules expérimentaux (inspirés de R 18 et 305 P) doit permettre dès 82 d'adapter sur des modèles de série des innovations testées.

Un deuxième objectif vise à concevoir et réaliser un véhicule entièrement nouveau qui réduirait la consommation du véhicule de grande diffusion aujourd'hui le plus économique (6 l/100 km) à 3 l/100 km en 1990. Un programme de recherche et développement est lancé associant les constructeurs automobiles et leurs fournisseurs.

TABLEAU 1 :

CONSOMMATION D'ENERGIE EN FRANCE  
ET PREVISIONS

Source Comité Professionnel du Pétrole.

| CONSOMMATION<br>en Mtep     | 1973  | 1975  | 1977  | 1978  | 1979  | 1980  | 1985*<br>(prov)                         | 1990*        |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|--------------|
| CHARBON                     | 30,5  | 27,5  | 31,4  | 32,4  | 35,0  | 34,0  | 34,0                                    | (33)<br>28   |
| GAZ                         | 15,5  | 17,5  | 20,1  | 20,8  | 23,4  | 23,6  | 30,0                                    | (42)<br>37   |
| PRODUITS PETROLIERS         | 117,2 | 102,7 | 106,6 | 108,8 | 108,7 | 102,1 | 92,0                                    | (68)<br>80   |
| ELECTRICITE NUCLE-<br>AIRE  | 3,0   | 3,9   | 3,8   | 6,5   | 8,4   | 12,9  | 43,0                                    | 14           |
| ELECTRICITE HYDRO-<br>LIQUE | 10,0  | 12,2  | 16,8  | 15,1  | 15,9  | 16,0  | 14,0                                    | 73           |
| TOTAL ENERGIE<br>PRIMAIRE   | 175,7 | 165,3 | 179,7 | 184,5 | 191,4 | 188,6 | 219,0<br>+ 6 éner<br>gies nou<br>velles | 242<br>+ 10  |
| ENERGIE FINALE              | 152,5 | 144,2 | 158,2 | 162,3 | 166,0 | 162,6 | 192,0                                   | (218)<br>217 |
| DONT TRANSPORT              | 31,9  | 31,6  | 34,6  | 35,4  | 36,5  | 36,0  | 42,5                                    | 46,5         |

\* Prévisions.



TABLEAU 3 : EVOLUTION DE LA CONSOMMATION ET DU PRIX DE QUELQUES PRODUITS PETROLIERS (source IFP)

|  | 1965  | 1970  | 1973  | 1974  | 1975  | 1976 | 1977  | 1978  | 1979  | 1980  | 1981 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| SUPER<br>CONSOMMATION<br>en Mt<br>PRIX au 1/01<br>en F/l<br>% Taxes et Red.            |       |       | 12.97 |       | 12.70 |      | 13.98 | 14.54 | 14.68 | 14.74 |      |
|  | 1.03  | 1.15  | 1.21  | 1.3   | 1.83  | 1.90 | 2.25  | 2.37  | 2.68  | 3.27  | 3.65 |
|  | 72.7  | 72.8  | 69.9  | 66.8  | 55.5  | 55.1 | 59.9  | 60.7  | 67.7  | 59.9  | 54.9 |
| ESSENCE<br>CONSOMMATION<br>en Mt<br>PRIX en F/l<br>% Taxes et Red.                     |       |       | 2.80  |       | 3.22  |      | 3.10  | 3.04  | 3.02  | 2.99  |      |
|  | 0.94  | 1.06  | 1.12  | 1.25  | 1.69  | 1.76 | 2.09  | 2.19  | 2.48  | 3.06  | 3.44 |
|  | 76.1  | 74.9  | 71.7  | 67.9  | 56.6  | 56.2 | 59.6  | 60.5  | 68.8  | 59.8  | 54.7 |
| GASOIL<br>CONSOMMATION<br>en Mt<br>PRIX en F/l<br>% Taxes et Red.                      | 2.9   | 4.8   | 6.5   | 6.8   | 6.9   | 7.5  | 8.0   | 8.6   | 9.2   | 9.5   |      |
|  | 0.651 | 0.718 | 0.775 | 0.865 | 1.16  | 1.25 | 1.34  | 1.43  | 1.62  | 2.22  | 2.63 |
|  | 67.4  | 65.4  | 61.8  | 59.9  | 52.1  | 49.5 | 49.7  | 49.9  | 56.8  | 49.5  | 44.0 |
| FOUD<br>CONSOMMATION<br>en Mt<br>PRIX au 31/12<br>en F/l<br>% Taxes et Red.<br>au 1/01 |       |       | 37.22 |       | 29.61 |      | 29.66 | 32.33 | 30.59 | 28.24 |      |
|  | 0.172 | 0.250 | 0.364 | 0.583 | 0.672 | 0.73 | 0.806 | 0.89  | 1.22  | 1.52  | 1.82 |
|  | 7.3   | 23.3  | 21.9  | 18.8  | 18.8  | 18.1 | 17.9  | 17.7  | 30.9  | 24.5  | 30.0 |

ANNEXE 2CARACTERISTIQUES ET ENSEIGNEMENTS DE QUELQUES  
EXPERIENCES ETRANGERES.

## I - Les U.S.A.

## A / LES DONNEES GENERALES DU PROBLEME

1°) la consommation

2°) les ressources énergétiques

## B / LES ACTIONS ENTREPRISES

1°) Les initiatives individuelles

2°) Le rôle de l'administration

## C / CONCLUSIONS

## II - LE BRESIL

## A / LES DONNEES GENERALES

## B / LE PROGRAMME PROALCOOL

## C / CONCLUSIONS

## III - LA R.F.A.

## A / LES DONNEES GENERALES

## B / LES ACTIONS ENTREPRISES

## C / CONCLUSIONS

De nombreux pays ont développé, plus ou moins énergiquement, des études ou des projets visant à chercher des substituts au pétrole comme source de carburants liquides et à réduire ainsi leur dépendance énergétique. Tel est par exemple, le cas des U.S.A., du BRESIL, de la NOUVELLE ZELANDE, de la plupart des pays d'Europe Occidentale.

Il n'est pas dans nos intentions de faire ici un panorama exhaustif des actions entreprises dans ce domaine mais d'analyser quelques expériences d'envergure et en nous intéressant plus particulièrement aux projets à court et moyen terme. Nous examinerons successivement le cas des U.S.A., du BRESIL et de la R.F.A.

#### I - LES U.S.A.

##### A / LES DONNEES GENERALES DU PROBLEME.

##### 1) La consommation

D'après la Revue de l'I.F.P. 1980 N° 6

|      | CONSOMMATION<br>ANNUELLE en Mt/an<br>de carburants<br>automobile | REPARTITION EN % |       |            |       |
|------|--|------------------|-------|------------|-------|
|      |  | Sans plomb       |       | Avec plomb |       |
|      |  | Ordinaire        | Super | Ordinaire  | Super |
| 1978 | 300  | 13               | 0     | 68         | 19    |
| 1980 | 330  | 50               | 0     | 40         | 10    |
| 1985 | 320  | 50               | 25    | 25         | 0     |
| 1990 | 300  | 45               | 35    | 20         | 0     |

A l'initiative de l'E.P.A. (Environmental Protection Agency), ont été pris des règlements visant à :

- limiter l'émission de CO et de NO<sub>2</sub> dans les gaz d'échappement. A cet effet les véhicules ont été équipés de pots d'échappement catalytiques. Ces catalyseurs étant empoisonnés par le plomb, l'usage d'essence sans plomb s'est très fortement développé,

- limiter la dose de plomb dans l'essence à 0,5g/l puis à 0,25g/l. L'E.P.A. vient d'autoriser d'adjonction de MTBE (Méthyl Tertio Butyl Ether) et de TBA (Tertio butyl alcool) (cf annexe 13) dans l'essence jusqu'à un taux de 7 % pour relever l'indice d'octane, ce qui permet en principe d'utiliser des moteurs à plus fort taux de compression et de réduire la consommation. Le tableau ci-dessus a d'ailleurs été établi en supposant une diminution à terme de la consommation des véhicules (de 16 l/100 km en moyenne aujourd'hui à 8 l/100 Km pour les véhicules qui seront construits en 1985).

## 2) Les ressources énergétiques

Les ressources en déchets agricoles et forestiers sont évalués à respectivement environ 400 MT et 65 MT. Si l'on tient compte du fait que seulement 20 à 40 % des déchets agricoles seront récupérables, on s'aperçoit qu'il s'agit d'une ressource assez limitée. Par contre, des cultures à vocation énergétique ou des exploitations forestières pourraient apporter une contribution plus significative.

Il faut surtout rappeler que les U.S.A. disposent d'abondantes ressources de charbon aisément exploitables (environ 180 milliards de tonnes économiquement récupérables) et que la synthèse de méthanol ex charbon serait un excellent moyen de liquéfier celui-ci. On peut trouver du charbon à 3 cF/th alors que seul le Sud Est des Etats Unis peut fournir de bois à un prix équivalent (ie 120 F/t contre 200 F/t à l'Ouest des U.S.A. et en Colombie Britannique).

Il est donc à craindre, qu'aux U.S.A. aussi, le

charbon soit un redoutable concurrent pour le bois.

## B / LES ACTIONS ENTREPRISES

### 1) Initiatives individuelles

On constate dans le Middle West le développement par des fermiers de projets de distilleries d'éthanol. Citons par exemple le cas d'un fermier du Minnesota, propriétaire d'une exploitation de 250 ha et 50 têtes de bétail qui, pour 25 000 \$ d'investissement, a construit une distillerie lui fournissant le carburant nécessaire à son exploitation. Si les distilleries régionales actuellement projetées sont effectivement construites, l'alcool ainsi produit (et incorporé à raison de 20 % dans le carburant pour faire du gazohol) pourrait représenter 0,5 % du carburant consommé, et les évaluations optimistes du US National Alcohol Fuels Commission prévoient 1 à 2 % de la consommation en 1985.

### 2) Rôle de l'administration

L'U.S.D.A. (United State Department of Agriculture) soucieux de maintenir le cours du maïs et de pallier à une surproduction chronique encourage la production d'éthanol à partir de maïs.

- par des prêts à la construction de distilleries,
- par l'achat dans certains cas de la production d'alcool.

Signalons de même la suppression dans certains états des taxes sur les carburants lorsque ceux-ci contiennent de l'alcool d'origine agricole.

Le D.O.E. (Department of Energy) soutient, conjointement avec l'U.S.D.A., un certain nombre d'initiatives dans ce domaine et développe un programme de recherches pour la mise au point de nouvelles techniques d'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques

Solar Energy

Research Institute). Cependant, soulignons qu'il affecte à ces projets 1,2 milliards de dollars à comparer à quelques 17 milliards de dollars pour des projets de production de carburants liquides à partir du charbon.

### C / CONCLUSIONS

Nous retiendrons plus particulièrement trois caractéristiques de la situation américaine.

- la législation anti-pollution sur les carburants crée un débouché spécifique qui pourrait favoriser l'emploi d'alcools carburants,

- la situation de surproduction chronique de céréales favorisent l'essor de la distillation. Remarquons que, dans ce cas, la notion de prix de revient est quelque peu oblitérée et l'argument ne jouerait plus s'il s'agissait de produire des quantités plus appréciables,

- le charbon, disponible en grandes quantités, risque de se révéler plus avantageux que la biomasse.

Remarquons enfin que l'accession à la présidence de Monsieur REAGAN pourrait remettre en cause les projets en cours (réduction du budget de la D.O.E. par exemple).

## II - LE BRESIL

Cette analyse s'inspire largement du rapport de MM LEMARECHAL et HOROWITZ au retour d'une mission effectuée au BRESIL en Juillet 1980.

### A / DONNEES GENERALES

L'énergie constitue une part importante des importations du Brésil (40 % ie 5 milliards de dollars en 1978). Afin de réduire ce déficit, une volonté politique s'est dé-

gagée depuis 5 ans, de parvenir à une quasi autonomie énergétique en produisant l'électricité à partir de barrages hydrauliques, en développant le charbon pour la production industrielle de chaleur, et enfin en lançant un grand programme (pro-alcool) de production de carburant à partir de biomasse.

#### B / LE PROGRAMME PRO ALCOOL

Il a été lancé en 1975 par le gouvernement et fortement soutenu, (prêts, réglementation, avantages fiscaux).

En 1980, un million d'hectares de canne à sucre ont été plantés (surtout dans le Sud Est) permettant la production de 3,7 millions de mètres cube d'éthanol. 20 % d'éthanol ont été incorporés à tous les carburants automobiles. Des essais pour l'utilisation d'éthanol pur ont été faits sur une flotte de 4000 véhicules.

En 1983, il est prévu que 20 % du parc automobile roulera à l'éthanol pur.

En 1985, il est prévu de produire 10 M m<sup>3</sup> d'éthanol ce qui suppose 8 milliards de \$ d'investissements pour la construction de 40 distilleries et la mise en culture de 2,3 M ha supplémentaires.

Signalons enfin un projet d'unité de production d'éthylène par deshydratation catalytique de l'éthanol (60 000 t/an)

#### C / CONCLUSIONS

Un tel projet n'a été rendu possible que :

- par des conditions géographiques favorables (surfaces cultivables disponibles, climat propice, main d'oeuvre abondante et bon marché) et non satisfaites en France.

- par une volonté politique très forte. En effet, de purs critères de rentabilité n'auraient pas, au moment où furent prises les décisions, donné l'avantage à l'éthanol par rapport à l'essence ex-pétrole. De plus, en période de cours élevé du sucre, la production et l'exportation de sucre seraient économiquement préférables. Enfin, il s'agit d'investissements considérables.

Cependant s'il veut aboutir, le projet devra éviter un certain nombre d'écueils créés par ce développement très rapide : déséquilibre régional, déficit des cultures sucrières, conflit sociaux.

### III - LA REPUBLIQUE FEDERALE ALLEMANDE

#### A / DONNEES GENERALES

La R.F.A. importe 54 % de son énergie sous forme de pétrole et un quart des hydrocarbures est destiné aux carburants.

Cependant, la R.F.A. dispose d'importantes réserves de charbon (40 milliards de tonnes récupérables aux conditions économiques actuelles ie 100 fois plus que les réserves de la France).

#### B / ACTIONS ENTREPRISES

Le gouvernement fédéral en collaboration avec les industriels des secteurs concernés (industrie automobile, pétroliers, chimie) a lancé des programmes d'étude et d'essai depuis 1974. Les incitations financières qui accompagnent ce programme correspondent à un budget de 135 millions de DM sur ces trois dernières années.

Des essais ont été réalisés sur une flotte d'environ un millier de véhicules avec un réseau de pompes dans toute la R.F.A. (et en Suède) distribuant du M15 (ie un car-

burant contenant 8 % de méthanol et 7 % d'alcool lourd) et du M100 (ie du méthanol pur).

Il semble que les problèmes de corrosion aient été résolus ou qu'ils ne se soient pas révélés inquiétants (tout au moins en ce qui concerne le M 15).

Il faut remarquer que les constructeurs allemands ont souvent participé activement aux autres expériences réalisées dans le monde (Brésil, Afrique du Sud, Nouvelle Zélande, U.S.A.) ce qui leur donne certainement une avance technique dans ce domaine.

### C / CONCLUSIONS

Ces essais lancés dès le lendemain du choc pétrolier permettent d'envisager dans un très court terme, ie dès que les capacités de production de méthanol le permettront, l'introduction généralisée d'une faible dose de méthanol (avec un compatibilisant) ; par ailleurs, les constructeurs automobiles semblent prêts à équiper les véhicules sortant avec des matériaux résistants au méthanol. L'utilisation généralisée du M100 nécessiterait un réseau indépendant de distribution, de production, ainsi que des véhicules spécialement construits à cet effet : techniquement, un tel véhicule pourrait être disponible sur le marché avant la fin des années 80.

Soulignons enfin l'intérêt d'une coopération à l'échelle européenne dans ce secteur ; il n'est en effet envisageable de créer un réseau de distribution de carburant M15 ou M100 qu'à l'échelle européenne, évitant ainsi la modification des véhicules au passage des frontières.

ANNEXE 3LE PLAN CARBURANT DE SUBSTITUTION

Le conseil des Ministres du 14 Janvier 1981, désireux de diversifier nos sources d'approvisionnement en carburant, a arrêté un plan "carburol" en deux phases. La première -1985- correspond à :

- une introduction progressive de carburants de substitution (composés oxygénés alcools) à raison de 10 % maximum dans le super sans modifier les moteurs ni le réseau de pompes actuel.

- un programme d'essais pilotes ainsi que de recherche et développement technologique destiné à atteindre dès que possible un stade industriel pour la production de tels carburants.

C'est en fonction des résultats obtenus sur les pilotes que pourront être atteints plus ou moins rapidement les objectifs retenus pour 1990 - 2ème phase : création d'un mélange spécial à forte teneur en carburol mis à la disposition de voitures spécialement adaptées et distribué par un réseau spécifique.

En ce qui concerne la première phase, des orientations ont été prises pour les essais et agréments, les filières de production et le dispositif administratif chargé du suivi et de la coordination du programme. Néanmoins ce plan ne tranche pas parmi les différentes voies possibles et se veut plutôt une incitation à la recherche et au développement tous azimuts, centrée sur un objectif de production à court ou moyen terme.

## I - ESSAIS ET AGREMENTS

L'arrêté interministériel du 21 Janvier 1981 autorise l'addition au super de composés oxygénés agréés, dans la limite d'un pourcentage n'excédant pas 10 % à fixer pour chaque carburant après essais. L'agrément sera accordé conjointement par le chef de mission carburant de substitution (Direction des Hydrocarbures) et la Direction Générale des Douanes après essais et avis du Comité Technique d'Utilisation des Produits pétroliers qui comprendra un représentant des consommateurs. Un programme d'essais est lancé pour fixer les critères d'agrément des carburants de substitution : il est suivi par le C.T.U.P.P., fait intervenir les constructeurs d'automobiles, les compagnies pétrolières, le COMES et l'I.F.P. ; ces essais représentent un budget de 12 MF, 500 véhicules sur 6 millions de km.

## II - LES FILIERES DE TRANSFORMATION, LES MATIERES PREMIERES

Une priorité est donnée à deux des filières envisageables :

- la fabrication de méthanol à partir de charbon, résidus de pétrole lourd, gaz, bois, lignite, shistes... en deux étapes : gazéification suivie de la transformation catalytique du gaz en méthanol (et même en "méthanol lourd" - méthanol et alcools supérieurs par un procédé I.F.P.)

- la production de mélanges "acétonobutyliques" à partir de matière végétale (paille, maïs, topinambour, betterave, canne, plantes fourragères...) par hydrolyse acide ou enzymatique puis fermentation.

- la troisième filière - l'éthanol - est en réserve ; elle paraît moins judicieuse que la première dans la mesure où l'éthanol n'est pas un compatibilisant entre le super et le méthanol.

- une dernière filière n'est pas retenue à ce stade : la fabrication d'essence synthétique (procédé Mobil) car elle est coûteuse en énergie.

Pour la première phase l'essentiel des carburants de substitution proviendra de la synthèse du méthanol à partir de produits fossiles avec des projets d'unités de 500 000 t/ an: charbon lorrain ou importé, coke de pétrole ou gaz. Dans cette filière méthanol, trois installations expérimentales sont en projet.

- une plateforme expérimentale d'étude de la gazéification du charbon et des résidus pétroliers lourds (I.F.P., Pétroliers, G.D.F., C.D.F.) il s'agit d'adapter des procédés existants à notre situation propre. L'opération est déjà avancée.

- un pilote de méthanol lourd : tester à l'échelle préindustrielle le procédé I.F.P. qui fournit un mélange s'adaptant beaucoup mieux à la combustion dans un moteur que le méthanol seul.

- un pilote de gazéification du bois à l'oxygène

Pour ce qui est de la filière "agricole" un pilote d'hydrolyse acide du bois avait déjà été mis en place à Tarnos (Landes) par BERTIN et ELF AQUITAINE. La création d'un pilote d'hydrolyse enzymatique de 1 t/Jour (37 millions de F) à Soustons (Landes) ferait de cette région une plateforme de développement biotechnologique. Enfin un pilote de production acétonobutylique de 10 t/Jour devrait être engagé en 1981 fonctionnant à partir de topinambour. Il permettra de tester à échelle réduite la possibilité de mettre en place une unité industrielle au niveau de la mobilisation de la ressource et des problèmes techniques. Des études sont engagées pour cerner par ailleurs les problèmes agronomiques, économiques et techniques.

Au total les dépenses engagées au titre de ce programme en 1981 représenteront entre 150 et 200 MF en essais, pilotes, recherche et développement à court et long terme dans tous les domaines concernés.

### III - DISPOSITIF ADMINISTRATIF (voir schéma)

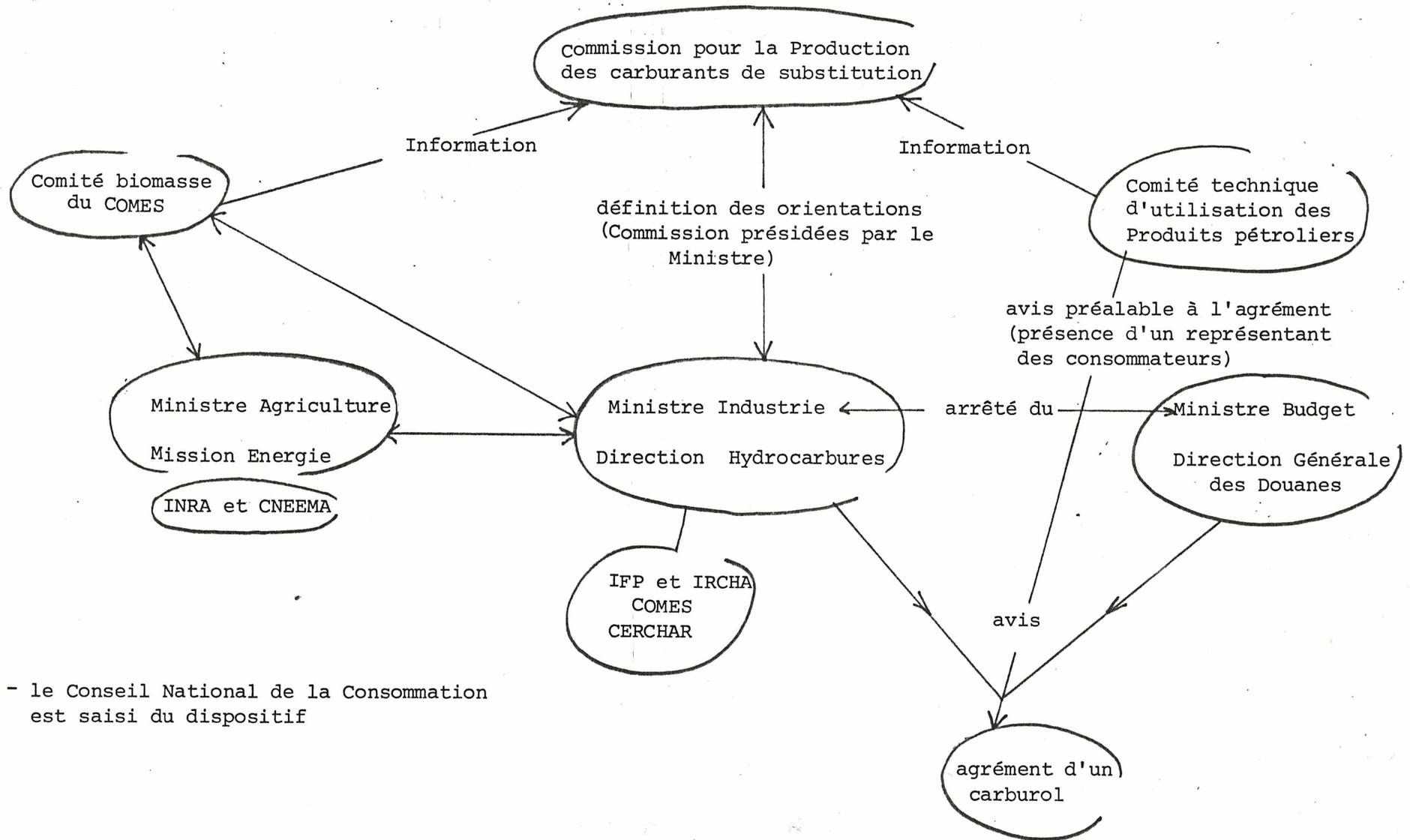
Au sein du Ministère de l'Industrie sera créée une mission carburants de substitution dans la Direction des Hydrocarbures, qui aura pour rôle d'animer et de coordonner l'ensemble du programme.

Le chef de cette mission conjointement avec la Direction générale des Douanes délivrera les agréments de carburants après avis du CTUPP.

Le CTUPP lui-même a été modifié, en particulier pour qu'il contienne un représentant des consommateurs. Il aura un rôle technique d'avis et d'information.

Une commission pour la Production des Carburants de substitution sera créée comprenant, comme le Conseil Supérieur du Pétrole, des représentants des différentes administrations concernées, des parlementaires, des industriels, des représentants du monde agricole et des experts. Elle aura la même vocation et le même rôle que la commission PEON pour le programme électronucléaire.- Présidée par le Ministre de l'Industrie - elle préparera les décisions du gouvernement en matière de politique des carburants de substitution.

Dispositif administratif du Programme carburants de Substitution



- le Conseil National de la Consommation est saisi du dispositif

ANNEXE 4METHODE DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE  
LES VOIES SECHES

## INTRODUCTION

## I - METHODES "EXTRACTIVES"

A / DISTILLATION ET PYROLYSE

B / HYDROLYSE

C / AUTRES METHODES

D / CONCLUSION

## II - METHODES "DESTRUCTIVES"

A / PRINCIPE

B / LES PROCEDES DE GAZEIFICATION DU CHARBON

C / LES PROCEDES DE GAZEIFICATION DU BOIS

D / LA SYNTHESE DU METHANOL

E / EVALUATION ECONOMIQUE DES FILIERES

F / LA LIQUEFACTION DU BOIS

## III - CONCLUSIONS

Nous avons appelé voies sèches les méthodes de transformation de la biomasse ne faisant pas intervenir de micro-organismes (par opposition aux voies humides).

Nous avons encore distingué deux types de méthodes :

- "extractives" où l'opérateur cherche à extraire de la biomasse des composants élémentaires (cellulose, glucose, ...) ou des formes modifiées de ceux-ci (furfural, glycérol, acide acétique).

- "destructives" où la biomasse est considérée uniquement comme source de carbone et d'énergie indépendamment de la structure de la matière première.

Nous avons conscience que cette classification est plus opératoire que conceptuelle et que si elle permet de regrouper aujourd'hui les principales techniques connues, il se peut qu'apparaissent un jour des techniques qu'il soit difficile de ranger dans une catégorie ou une autre.

#### I - METHODES "EXTRACTIVES"

Il existe deux grandes voies traditionnelles dans ce domaine basées soit sur la distillation soit sur l'hydrolyse du bois.

##### A / DISTILLATION ET PYROLYSE

Le chauffage, à l'abri de l'air, du bois provoque un remaniement des atomes de carbone d'hydrogène et d'oxygène, tendant à générer d'une part du carbone pur (charbon

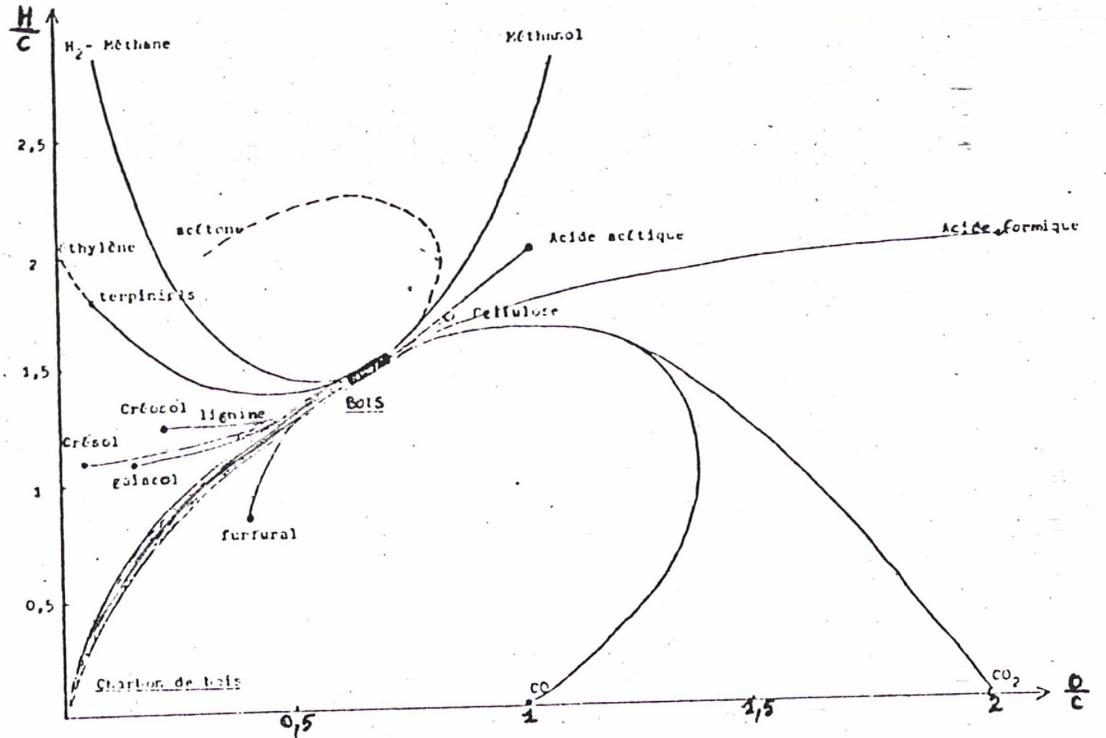
de bois par exemple) et de l'autre des produits plus riches en hydrogène et oxygène que le matériau de départ (acides acétiques et formique, CO et CO<sub>2</sub>, créosol).

On peut comparer cette carbonisation à la carbonisation naturelle qui mène du bois à la tourbe puis au charbon ; ce qui apparaît à l'analyse des diagrammes ci-contre.

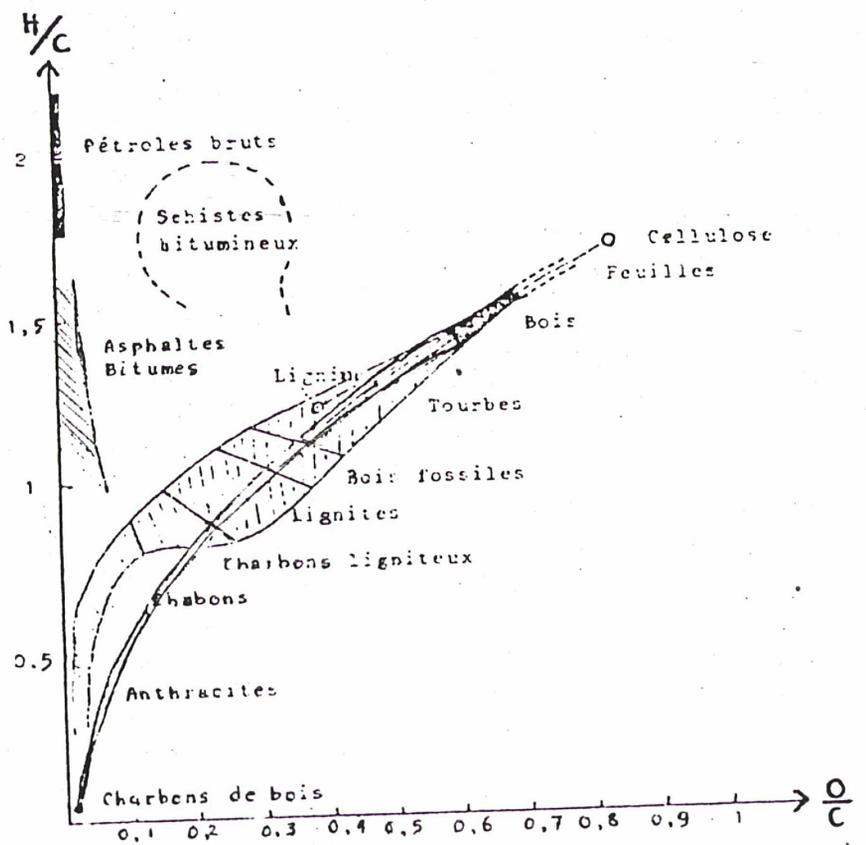
D'après une étude remarquable de M. SCHWOB de l'ENSMP dont nous nous inspirons largement dans ce paragraphe, à partir de 100 g de bois on obtient les constituants suivants (nous raisonnerons ici sur le bois mais d'autres matières végétales après deshydratation partielle donneraient sensiblement les mêmes résultats). (voir tableau ci-contre).

Le terme générique acides-alcools recouvre essentiellement l'acide acétique (40 kg/t de bois sec) le méthanol et le furfural ; le terme de créosote désigne des constituants du goudron de bois ; il s'agit d'un mélange assez complexe de mono ou polyphénols, une ou plusieurs fois méthoxylés (par exemple le gaïacol de formule  -OH, les -OCH<sub>3</sub>).

produits chimiques extractibles (acides, alcools) sont présents en quantité trop faible pour justifier la filière dont le but est aujourd'hui la production de charbon de bois.



Eclatement des constituants du bois carbonisé.



Evolution ligno-houillère et carbonisation du bois

|          | 100         | 31                | 20                | 6      | 38              | 5                  |
|----------|-------------|-------------------|-------------------|--------|-----------------|--------------------|
|          | Bois sec    | Charbon + Crésote | Acides, alcools.. | +      | $(H_2O + CO_2)$ | $(CO, H_2; \dots)$ |
| C        | Poids % 50  | 30,0              | 13,2              | 2,4    | 2,7             | 1,8                |
| H        | " 6,5       | 0,2               | 1,1               | 0,5    | 3,1             | 1,1                |
| O        | " 43,5      | 0,8               | 5,4               | 3,3    | 32,1            | 2,1                |
| C        | mol. % 30   | 18,0              | 7,9               | 1,4    | 1,6             | 1,0                |
| H        | mol. % 50   | 1,5               | 9,8               | 3,7    | 23,9            | 11,0               |
| O        | mol. % 20   | 0,4               | 2,5               | 1,4    | 14,7            | 0,9                |
| % C mol. |             | 60                | 26,3              | 4,7    | 5,3             | 3,3                |
| % H mol. |             | 3                 | 19,9              | 7,4    | 47,8            | 22,0               |
| % O mol. |             | 2                 | 12,5              | 7,0    | 73,5            | 4,5                |
| Energie  | 300.000 Cal | 145.000           | 100.000           | 25.000 | 0               | 30.000             |
| -        | % 100       | 48,3              | 33,3              | 8,3    | 0               | 10                 |

Répartition schématique des constituants élémentaires  
du bois sec carbonisé - Energie répartie.

B / HYDROLYSE

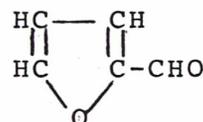
Nous n'évoquerons pas ici les procédés d'hydrolyse de la matière végétale (cf annexe 5) mais nous indiquerons l'usage que l'on peut faire des produits ainsi séparés. Rappelons que l'hydrolyse permet de séparer la cellulose, les hémicellulose et la lignine.

1) La cellulose

Rappelons d'abord que la procédé de fabrication de pâte à papier chimique est, dans son principe, l'élimination de la lignine et d'une partie des hémicelluloses pour libérer les fibrilles de cellulose qui sont le constituant essentiel de la pâte à papier. De même il existe, depuis le début du siècle, plusieurs procédés de fabrication de fibres artificielles à partir de cellulose modifiée chimiquement mais ils ont dû céder la place au textile synthétique (ex-pétrole) et seul un procédé technologique nouveau permettant la fabrication de fibres de meilleure qualité pourrait conduire à une renaissance de cette filière.

2) L'hémicellulose

Ce sont des polymères de sucre à 5 atomes de carbone (les pentoses). Par hydrolyse puis deshydratation en milieu acide et sous l'action de la chaleur, les hémicelluloses se transforment en furfural



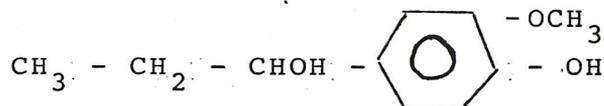
On peut ensuite par des voies chimiques diverses passer du furfural au pentadiène, au butadiène, au méthyl butadiène tous trois matières premières de caoutchouc synthétique.

Bien que les capacités mondiales de production de furfural soient excédentaire, la France importe 6000 t/an de ce produit, ce qui constitue un débouché potentiel à une éventuelle production ex-biomasse. Remarquons d'ailleurs

que la société Agrifural produit en France du furfural à partir de rafles de maïs.

### 3) La lignine

Ce constituant est formé de polymères statistiques de poids moléculaire élevé dont les monomères ont pour formule moyenne :



sa structure exacte n'est pas encore élucidée.

On peut :

- soit produire des dérivés du phénol par destruction partielle de la lignine. Il est cependant difficile d'obtenir de grandes quantités de produits purs et homogènes. Les procédés actuels fournissent un mélange de composés phénoliques (cf créosote) ce qui réduit sensiblement leur intérêt,

- soit exploiter la structure branchée de la lignine pour faire des résines. Ceci est déjà largement pratiqué et fournit par exemple les résines utilisées dans la fabrication de panneaux de particules de bois.

### C / AUTRES METHODES

Diverses méthodes ont été essayées pour produire à partir de matière végétale des produits chimiques homogènes. Citons par exemple la fusion alcaline mise au point par GAY LUSSAC qui donne de l'acide acétique, de l'acide formique, de l'acide oxalique suivant les conditions opératoires, la fabrication de diméthylsulfure à partir de liqueur noire Kraft :  $2 \text{ lignine-OCH}_3 + \text{Na}_2\text{S} - 2 \text{ Lignine ONa} + \text{CH}_3 \text{ S CH}_3$ , la production de glycerol ou de glycol par hydrogénation catalytique d'une solution de sucre préalablement obtenue.





Les différences entre les filières portent :

- sur l'injection ou non d'O<sub>2</sub>, d'H<sub>2</sub>O,
- sur l'apport de calories de l'extérieur du réacteur (procédé allothermique) ou la combustion partielle de la charge (procédé autothermique).

Ce choix dépend pour beaucoup de la matière première choisie :

- pour le gaz naturel, le gaz de pétrole liquéfié, le naphta on peut utiliser le reformage à la vapeur (introduction de vapeur, chauffage extérieur, 900°C, 20-30 bars)
- pour le naphta, le fuel lourd, les résidus pétroliers, les asphaltes, on préfère l'oxydation partielle (introduction d'O<sub>2</sub> et de vapeur, procédé autothermique, 1400°C, 20-90 bars),
- pour les matières premières solides, l'oxyvapo-gazéification (combustion incomplète à l'oxygène en présence de vapeur d'eau).

#### B / LES PROCÉDES DE GAZEIFICATION DU CHARBON

(Nous nous inspirons ici assez largement de l'intervention de M. RICHARD de la S.N.E.A. au congrès de Janvier 1981 de l'Association Française des Techniciens du Pétrole).

Bien que le méthanol soit aujourd'hui essentiellement synthétisé à partir du gaz naturel, ce sont les procédés partant du charbon qui serviront de base de référence pour la conception de procédés de gazéification du bois.

3 procédés sont à ce jour exploités industriellement dans le monde : LUIGI, WINKLER, KOPPER-TOTZEK. De plus un important projet utilisant le procédé Texaco est prévu en R.F.A. Les tableaux ci-contre résument les caractéristiques de ces divers procédés.

Les choix technologiques portent sur le type de réacteur utilisé (fixe, fluidisé, entraîné), la température et la pression de réaction, la composition du gaz produit, le mode de récupération des cendres.

REPARTITION de la CAPACITE de PRODUCTION MONDIALE DE METHANOL en fonction de la charge

Les usines actuelles de fabrication de méthanol utilisent essentiellement du gaz naturel comme le montre le tableau n° 1 établi à partir de chiffres tirés des publications spécialisées :

| Capacités installées et nombre d'usines |                     |                                       |                          |                                       |
|---|---------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| CHARGES                                 | Situation au 1.1.80 |                                       | Situation en 1983-84 (1) |                                       |
|   | Nombre usines       | Capacité en 10 <sup>3</sup> tonnes/an | Nombre usines            | Capacité en 10 <sup>3</sup> tonnes/an |
| Gaz naturel (2).....                    | 46                  | 10 600                                | 52                       | 15 000                                |
| Naphta.....                             | 9                   | 1 000                                 | 9                        | 1 000                                 |
| Butane.....                             | 2                   | 600                                   | 2                        | 600                                   |
| Gazole à<br>Résidus Pétroliers.....     | 8                   | 1 800                                 | 13                       | 2 300                                 |
| Gaz de raffineries.....                 | 0                   | 0                                     | 1                        | 300                                   |
| Charbon.....                            | 3                   | 200                                   | 3                        | 200                                   |
| Inconnues.....                          | 2                   | 200                                   | 4                        | 500                                   |
| Totaux                                  | 70                  | 14 400                                | 84                       | 19 900                                |

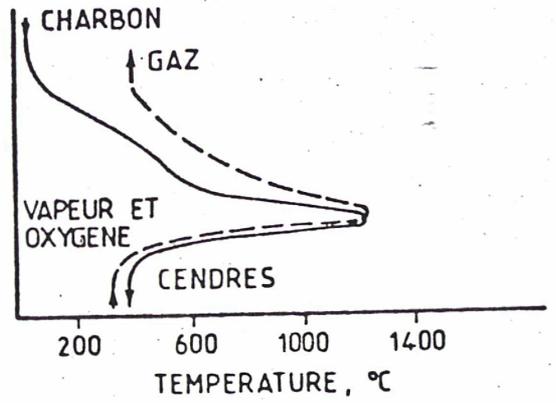
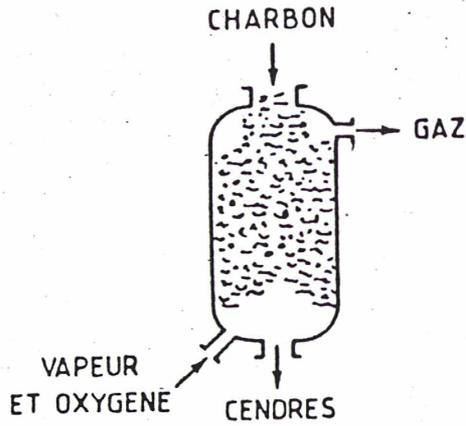
(1) Les chiffres de ces colonnes comprennent les installations en service et celles en construction.

(2) Plusieurs installations traitent du gaz naturel et du naphta

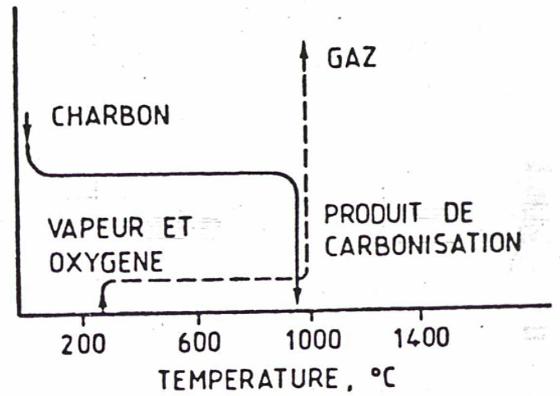
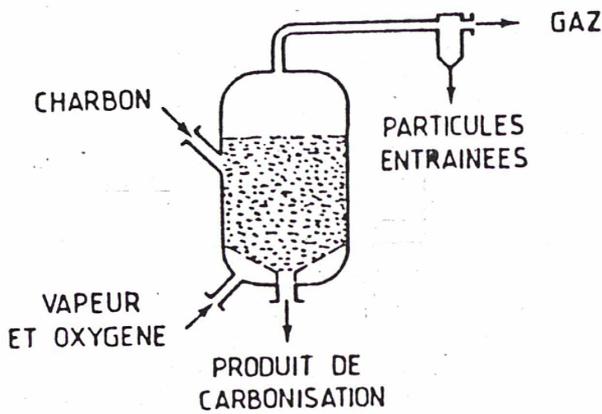
L'augmentation de capacité entre 1980 et 1984 est surtout le fait de l'URSS (1650), du Canada (1100), des Etats-Unis (800) et de l'Arabie Saoudite (700).

Les prévisionnistes ne sont pas tous d'accord sur la situation géographique des futures usines de fabrication de méthanol ; pour les uns, elles se situeront dans les pays producteurs de gaz naturel, celui-ci étant réputé bon marché ; pour les autres, on trouvera au moins certaines d'entre elles dans les pays consommateurs où elles utiliseront du charbon.

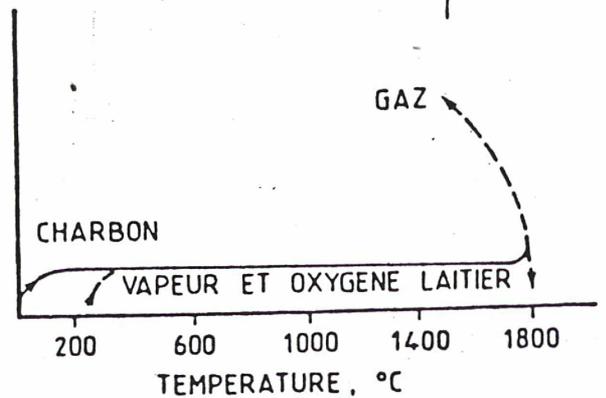
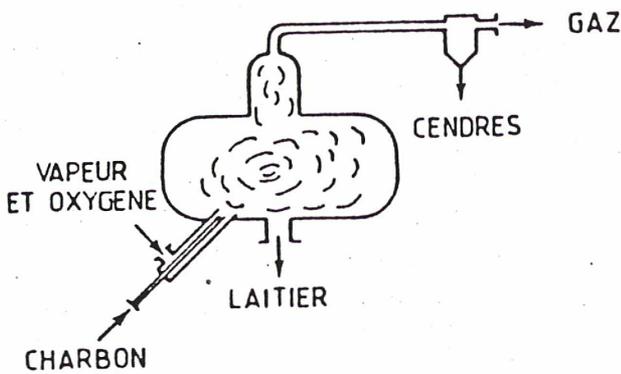
SYSTEMES DE GAZEIFICATION



LIT FIXE



LIT FLUIDISE



LIT ENTRAINE

## C / LES PROCÉDES DE GAZEIFICATION DU BOIS

Il n'existe pas à ce jour d'installation industrielle en fonctionnement produisant du méthanol à partir de bois (nous traiterons en effet ici le cas du bois, candidat le plus sérieux pour cette filière (cf chapitre III du texte principal) par rapport au charbon :

- le bois contient beaucoup plus de matières volatiles que le charbon ; celles-ci peuvent contenir jusqu'à 40 % du contenu énergétique du bois et de plus se condensent sous forme de goudrons. Le procédé doit donc absolument prévoir leur traitement.

- les cendres du bois sont fusibles à plus basse température (900°C) ce dont doit tenir compte le système de récupération des cendres.

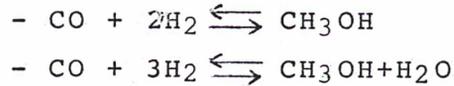
- la composition chimique différente du bois modifiera les quantités de O<sub>2</sub> et d'H<sub>2</sub>O nécessaires. De même le choix de la pression de réaction reste à faire : ce choix doit être fait en tenant compte d'éventuels problèmes d'introduction du bois. Il semble souhaitable à ce titre que le bois soit préalablement débité en copeaux.

- le charbon de bois est beaucoup plus poreux et donc réactif que le charbon. Même si l'expérience du charbon peut servir de guide dans la conception d'un gazogène à bois, il est certain que celui-ci nécessitera peut être un type de réacteur original : l'expérimentation sur pilote est donc indispensable.

## D / LA SYNTHÈSE DU METHANOL

### 1) Les procédés traditionnels

Ils sont basés sur les réactions de synthèse :



qui sont toutes deux fortement exothermiques.

Elles se déroulent en présence de catalyseur à base de cuivre entre 240 et 270°C et entre 50 et 110 bars.

Le méthanol est classiquement purifié à la sortie du réacteur pour éliminer l'eau et les impuretés formées (éthers, cétones, alcools lourds).

Avant d'introduire le gaz de synthèse dans le réacteur on doit ajuster sa composition autour du rapport stoechiométrique,

$$\frac{\text{H}_2}{\text{CO} + \frac{3}{2} \text{CO}_2} = 2$$

ceci grâce à la réaction de conversion (mentionnée en A) conduite dans un réacteur à part.

## 2) Adaptation au méthanol carburant

Quelques différences existeront vraisemblablement par rapport aux unités de synthèse de méthanol pour la chimie.

Les catalyseurs n'auront pas besoin d'être aussi sélectifs, la distillation aussi poussée : en effet les impuretés produites (alcools lourds par exemple) n'ont pas d'effets néfastes pour la combustion.

Ceci permettrait de rechercher des catalyseurs travaillant à pression plus élevée ou à température plus basse et surtout résistants mieux aux impuretés (présentes

dans le charbon bien sûr mais aussi dans la biomasse).

A titre d'exemple signalons un procédé étudié par l'IFP de synthèse catalytique en deux temps visant à produire un mélange à 80-85 % de méthanol et 15-20 % d'alcool à 3 carbones ou plus avec un surcoût d'environ 15 % par rapport à une synthèse classique.

Signalons par ailleurs que MOBIL OIL Co a mis au point un procédé de conversion du méthanol en hydrocarbures :



avec un rendement théorique en poids de 45 %. Les hydrocarbures obtenus ont pour 60 % plus de 5 carbones et le rendement global en poids par rapport au méthanol est de 40 % d'essence et 5 % de gaz. Le liquide obtenu se substitue presque parfaitement à l'essence ordinaire et ne posséderait pas les défauts du méthanol (corrosion,.. cf annexe 13).

Un projet d'une unité de ce type vient d'être décidé en Nouvelle Zélande ; on estime à environ 3800 F/t le prix de revient de cette essence synthétique à partir de charbon à 400 F/t.

#### E / EVALUATION ECONOMIQUE DES FILIERES

Nous avons établi le tableau ci-contre en comparant diverses sources d'évaluation (IFP, CLE, CGE...).

Remarquons qu'il n'a pas toujours été possible d'obtenir une évaluation extrêmement précise :

- parce que les conventions de calcul (taux d'actualisation par exemple) ne sont pas toujours homogènes ni parfaitement explicitées.

- parce que les valeurs concernant la filière bois

n'ont pas pu être vérifiées sur des installations industrielles et des points tels que le rendement global, la réactivité des matériaux, le comportement des cendres ne sont pas extrêmement facilement transposables du pilote à l'installation grandeur nature.

Ces réserves étant faites et sous des hypothèses de prix sur la vraisemblance desquelles nous reviendrons au chapitre III du texte principal :

- gaz naturel à 10 c/th
- charbon de 4,5 à 6 c/th suivant l'origine et la qualité (élément qui joue sur le rendement et donc le coefficient de X)
- bois de 7,5 à 10 c/th ie un prix de la matière sèche de 300 à 400 F/t valeurs observées aujourd'hui,

nous pouvons remarquer que :

- le charbon est en passe de devenir compétitif par rapport au gaz naturel,
- le bois conduit à un produit valant 2 à 300 F plus cher et cela essentiellement à cause du prix élevé de la matière première.

| MATIERE PREMIERE | BILAN MATIERE   | PCI Produit final | INVESTISSEMENTS (capacité annuelle)   | PRIX DE REVIENT EN F/T (est le prix de la matière première en c/th) |   |
|------------------|---|-------------------|---|---|---|
|                  |   | PCI intrants      |   |   |   |
| GAZ NATUREL      | 900 Nm <sup>3</sup> de gaz + 2,2T vap → 1 t de CH <sub>3</sub> OH                         | 0.55              | 500 à 800 MF (600 000t/an)  | 310 à 410 + 90 X  | ie pour X =<br>10 c/th 1300 F   |
| CHARBON          | 1,8 à 2 t de charbon + 640 kg de vap + 1.1 t d'O <sub>2</sub> → 1 t de CH <sub>3</sub> OH | 0.40 à 0.45       | 1000 à 1200 MF (350 000 t/an)<br>1800 MF (600 000 t/an)<br>4000 MF (1 800 000 t/an) | 700 à 800 + (105 à 125)<br>800 + 120 X<br>650 + 120 X               | 4,5C/th 6c/th<br>1200 à 1400 à<br>1300 1500 F<br>1350 F 1600 F<br>1130 F 1330 F |
| BOIS             | 2t de bois sec + 150 kg d'O <sub>2</sub> + 50 kg de Vap → 1 t de CH <sub>3</sub> OH       | 0,5               | 450 à 550 MF (170 000 t/an)   | 850 à 1050 + 80 X   | 7,5 c/th 10c/th<br>1450 F à1850 F   |

EVALUATION ECONOMIQUE DE DIFFERENTES FILIERES DE PRODUCTION DU METHANOL

-----

F / LA LIQUEFACTION DU BOIS

Est actuellement développé en Afrique du Sud un projet (Sasol) de liquéfaction du charbon par le procédé Fischer Tropsch. Le rendement énergétique de la filière est actuellement de 40 % ce qui rend le procédé peu économique. Rappelons dans la même optique le procédé que développe MOBIL OIL Co.

Des essais similaires ont été entrepris pour liquéfier directement la biomasse forestière par hydrogénation catalytique directe après une hydrolyse partielle pour déstructurer le bois.

Il reste cependant :

- à caractériser le liquide obtenu et vérifier ses qualités de carburant,
- à définir l'économie du système et en particulier à indiquer le mode d'obtention de l'hydrogène ou du mélange CO + H<sub>2</sub> utilisé.

III - CONCLUSIONS

Deux types de remarques peuvent être faites :

- Certains procédés en cours de mise au point seraient extrêmement intéressants s'ils s'avérait techniquement viables et économiquement acceptables ; tel est le cas de l'hydroliquéfaction, de procédés plus doux d'hydrolyse et de séparation des constituants de la biomasse.

- il existe d'ores et déjà un certain nombre de procédés de gazéification du bois dont on peut penser qu'ils déboucheront sans obstacles techniques majeurs. Cependant, le charbon constitue un redoutable concurrent pour ces filières le risque de le rester durant la décennie à venir.

ANNEXE 5

METHODES DE TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE

VOIES HUMIDES

INTRODUCTION

I - EXTRACTION DE MATIERES FERMENTESCIBLES

A / LES PLANTES ALCOOLIGENES

B / L'HYDROLYSE CHIMIQUE

C / L'HYDROLYSE ENZYMATIQUE

D / CONCLUSION

II - LES FERMENTATIONS

III - CARACTERISTIQUES DE QUELQUES FILIERES

IV - CONCLUSIONS

Rappelons que l'on définit les voies humides celles qui utilisent des micro organismes pour transformer la matière première végétale. Or, celle-ci est constituée essentiellement de :

- polymères ou oligomères de sucres à 6 atomes de carbone (hexoses) par exemple la cellulose polymère de glucose, l'inuline polymère de fructose, le saccharose (ie le sucre du commerce) dimère de glucose et de fructose. Les sucres en C6 sont tous fermentescibles.

- polymères de sucres à 5 atomes de carbone (pentoses) ; ils sont fermentescibles par certains micro organismes seulement.

- lignines ie des polymères statistiques de composés phénoliques qui sont très difficilement dégradables par les micro organismes.

Nous donnons ci-dessous la composition de quelques matériaux végétaux.

| COMPOSITION EN % EN POIDS<br>DE LA MATIERE SECHE | PIN | PEUPLIER | PAILLE<br>DE BLE | RAFLES<br>DE MAÏS |
|--|-----|----------|------------------|-------------------|
| Cellulose  | 44  | 43       | 43               | 36                |
| Hémicelluloses                                   | 17  | 22       | 27               | 30                |
| Lignine  | 30  | 19       | 25               | 16                |
| Divers (cendres, lipides..)                      | 9   | 16       | 5                | 18                |

Il faut donc dans un premier temps extraire de la biomasse la partie fermentescible, étape que nous analyserons dans la partie I. Puis vient la phase de fermentation propre-

ment dite que nous étudierons au II. Les phases ultérieures (distillation, valorisation des déchets) sont généralement bien connues et ne seront évoqués qu'à propos des procédés les plus prometteurs.

## I - EXTRACTION DES MATIERES FERMENTESCIBLES

Deux situations se présentent :

- Il existe des plantes (que nous qualifierons d'alcooligènes) contenant une grande quantité de bas polymères de sucres aisément extractibles et le cas échéant hydrolysables.

- dans la majorité des cas, il faut rompre les liaisons, d'une part entre les différents types de constituants de la biomasse et d'autre part entre les monomères d'un même constituant. On distingue dans ce cas l'hydrolyse acide et l'hydrolyse enzymatique.

### A / LES PLANTES ALCOOLIGENES

Nous distinguerons encore :

- les matières sucrées où l'on obtient directement des sucres fermentescibles. Par exemple les fruits, la canne à sucre, la betterave, le topinambour. Ainsi près de 90 % de la matière sèche est du saccharose dans le cas de la betterave, de l'inuline aisément hydrolysable en fructose dans le cas du topinambour.

- les matières amylacées ie contenant de l'amidon qui sous l'action d'acides peut être transformé en glucose ou maltose. Citons dans ce groupe la pomme de terre, le manioc, mais aussi les céréales (blé, orge, seigle).

## B / L'HYDROLYSE CHIMIQUE

En solution acide à moyenne température les liaisons entre monomères formant les polymères végétaux peuvent être rompues ; la difficulté réside en ce qu'il faut que l'hydrolyse soit aussi complète que possible sans dégrader les sucres. Le traitement chimique considéré peut présenter plusieurs variantes :

- quant au nombre et à la durée des phases du traitement. Il peut être intéressant d'éliminer successivement les constituants libérés ie les hémicelluloses et la lignine avant de poursuivre l'hydrolyse.

- par les conditions d'hydrolyse ie la nature et la concentration de l'acide utilisé, la température d'hydrolyse et sa durée.

Les points cruciaux sont :

- le prétraitement physique nécessaire pour accroître la réactivité de la biomasse,

- le rendement en sucres fermentescibles qui peut aller de 0.25 à 0.45 t/t de matière sèche introduite

Nous avons résumé sur le tableau suivant les caractéristiques de quelques uns des procédés testés sur pilote à ce jour. (en nous inspirant d'études de BERTIN ou HEURTEY).

| NOM DU PROCEDE                       | HARENG (HCl gazeux)      | HOKHAIDO  | NOGUCHI CHISSO                 | CONTINUE CONVERSE   | MEUNIER  | SCHOLLER  | BERGIUS                            |
|--------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------------|---|--|---|------------------------------------|
| Préhydrolyse                         | 20 % HCl<br>T atm<br>45' | 1 à 2%<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>145 ou<br>180°C | 4% HCl<br>100°C<br>3 heures    |   |  |   | HCl 0,1N<br>90°C<br>1 H 30         |
| Hydrolyse                            | 40-42% HCl<br>T atm      | 30 à 40%<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>T atm<br>1 mn | 65 % HCl<br>40°C<br>12 à 15 mn | 1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>30h 225°C<br>15 sec. | 1,8 à 2,5%<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>175°C<br>2 fois<br>30 mn | de 1 à 0,4%<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> de<br>120 à 170°C<br>plus. fois | HCl<br>T atm<br>4 fois<br>6 heures |
| Post-Hydrolyse                       |                          | 5-10%<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>100°C<br>1 heure | 6% HCl<br>100°C<br>1 heure     |   |  |   | 1% HCl<br>115°C<br>20 mn           |
| Sucres obtenus<br>Sucres disponibles | 80 %                     | 60 %  | 60 %                           | 90 %  | 45 %   | 75 %  | 100 %                              |

### C / L'HYDROLYSE ENZYMATIQUE

Rappelons qu'il existe dans la nature des micro-organismes qui sont capables de dégrader des constituants élémentaires des végétaux : cette dégradation est catalysée par des enzymes excrétés par les microorganismes. On peut donc essayer d'utiliser ces enzymes excrétés pour hydrolyser de la biomasse, cette méthode ayant l'avantage d'une part de ne requérir ni énergie ni produits chimiques et d'autre part de produire des sucres non dégradés ie parfaitement fermentescibles.

Il est cependant toujours nécessaire de procéder à un prétraitement physique et chimique pour rendre accessibles aux enzymes les liaisons à hydrolyser ( par exemple broyage mécanique et traitement en présence d'HCl dilué à 100°C).

Il faut disposer de souches hyperproductrices d'enzymes ce qui avec les progrès de la génétique moderne est aujourd'hui possible ou le sera bientôt.

Des essais actuellement réalisés en laboratoire donnent des taux d'hydrolyse (ie le rapport sucres fermentescibles sur sucres présents dans la matière végétale au départ) de 45 % ce qui est trop faible : des progrès seront vraisemblablement faits mais ce défaut est aujourd'hui rédhibitoire car la matière première représente la majeure partie du prix de revient du produit fermenté. un pilote est prévu pour la fin 1983 ie qu'il est peu probable de voir des réalisations industrielles dans ce secteur avant 1985.

#### D / CONCLUSIONS

Il semble que dans le court terme le sucre fermentescible le moins cher soit celui qu'on peut extraire des plantes "sucrées" (betterave, topinambour). Remarquons cependant que si l'on calcule le prix du sucre contenu dans du bois et de la betterave hors frais d'extraction on trouve respectivement 700F/t (pour du bois à 400F/t de matière sèche) et 1250 F/t (pour de la betterave à 200 F/t) ; cela signifie que les procédés d'hydrolyse méritent d'être étudiés et qu'un procédé économiquement valable serait promis à un avenir certain.

#### II - LES FERMENTATIONS

Une fermentation est la production par des microorganismes de substances organiques lorsqu'on les fait croître sur un substrat donné (en général des sucres fermentescibles) ; une grande gamme de produits peut être ainsi obtenue. Citons comme exemple les acides aminés et les antibiotiques.

Cependant les alcools constituent des produits de fermentation particuliers. Ceux-ci sont en effet les produits terminaux de la dégradation des sucres en absence

d'oxygène, cette dégradation fournissant l'énergie nécessaire à la vie de la cellule (ceci est vrai pour pratiquement tous les organismes vivants).

Schématiquement la situation est la suivante :  
 $1 \text{ glucose} + 2(\text{ADP} + \text{Pi}) + 2 \text{ NAD} \longrightarrow 2 \text{ pyruvates} + 2(\text{NADH} + \text{H}^+) + 2\text{ATP}.$

- le glucose étant un sucre dans lequel tous les autres sucres sont transformés avant leur utilisation par la cellule.

- l'ATP étant la forme sous laquelle la cellule stocke et utilise l'énergie chimique,

- le pyruvate et le  $(\text{NADH} + \text{H}^+)$  étant des produits normalement oxydés en présence d' $\text{O}_2$ , le NAD doit cependant toujours être recyclé.

La cellule a plusieurs solutions pour ce faire :

$1 \text{ pyruvate} + 1(\text{NADH} + \text{H}^+) \longrightarrow 1 \text{ lactate}$ , c'est la fermentation homolactique.

$1 \text{ pyruvate} + 1(\text{NADH} + \text{H}^+) \longrightarrow 1 \text{ CO}_2 + 1 \text{ éthanol}$ , c'est la fermentation éthylique.

$2 \text{ pyruvates} + 2(\text{ " }) \longrightarrow 1 \text{ n.butanol} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  ) C'est la  
 $2 \text{ pyruvates} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3 \text{ CO}_2 + 1 \text{ acétone} + 4\text{H}_2$  ) fermentation  
 ) acétono  
 ) butylique

On comprend ainsi que la plupart de ces fermentations aient été connues et utilisées depuis fort longtemps ; elles sont donc relativement faciles à conduire (par exemple contaminations moins fréquentes) et assez rapides.

Deux types de fermentations semblent donc particulièrement intéressantes pour un usage carburant :

- la fermentation éthylique,

- la fermentation acétonobutylique.

Nous donnons quelques caractéristiques des produits finaux dans le tableau suivant :

| NOM DU PRODUIT                  | METHANOL | ETHANOL | MELANGE ACE-TONOBUTYLIQUE | SUPER CARBURANT |
|---------------------------------|----------|---------|---------------------------|-----------------|
| Densité                         | 0,79     | 0,79    | 0,8                       | 0,73-0,76       |
| Chaleur de vaporisation en th/l | 0,221    | 0,16    | 0,11                      | 0,06            |
| PCI en th/l                     | 3,87     | 5,07    | 6,1                       | 7,64            |
| Indice d'octane recherché       | 106      | 106     | 100                       | 97 - 99         |

Signalons enfin un léger handicap de la fermentation acétono-butylique : la concentration finale du produit avant distillation avoisine 2 % contre 6 à 8 % dans le cas de la fermentation acétono-butylique. Cela se traduira par un coût d'extraction plus élevé.

### III - CARACTERISTIQUES DE QUELQUES FILIERES

Nous nous concentrerons ici sur des filières au point aujourd'hui ou à court terme.

Nous donnons dans le tableau ci-contre les caractéristiques techniques et économiques de 4 filières évaluées à partir d'études de l'IFP, d'APC, de BERTIN.

Ces quelques chiffres appellent les commentaires suivants :

- les rendements à l'hectare (45<sup>t</sup>) correspondent aux moyennes observées aujourd'hui (pour les prix retenus,

voir ch III du texte principal).

- les intrants énergétiques correspondent à une installation construite aujourd'hui. Or la plupart des distilleries sont assez anciennes et actuellement pour l'éthanol ex-betterave le rapport (PCI produit final) sur (PCI intrants énergétiques) est assez voisin de 1.

- les rendements concernant le mélange acétono-butylque étant à vérifier, nous avons adopté une attitude prudente en prenant entre 30 et 40 kg de mélange / 100 kg de sucres fermentescibles. De même le process n'étant pas encore totalement fixé, nous avons pris une marge d'incertitude sur les investissements nécessaires (environ 200 MF pour une usine de 3000 hl/j).

En plus de ces incertitudes de calcul de prix de revient, nous voulons attirer l'attention du lecteur sur deux ambiguïtés :

\* Sur le ratio  $\frac{\text{P C I final}}{\text{Intrants énergétiques}}$  et la production énergétique à l'Ha.

L'ambiguïté tient à l'amalgame de toutes les sources d'énergie quelque soit leur valeur (du point de vue économique ou de la balance commerciale). Ainsi il ne nous apparaît pas possible de choisir entre la betterave et le topinambour sur la simple existence des fanes de topinambour utilisables pour fournir la chaleur nécessaire à la distillation. En effet, si dans le cas de la betterave on utilise d'autres déchets agricoles à cet effet les deux situations deviennent assez comparables.

Nous avons donc deux choix successifs :

Choix de la plante et du produit final de la fermentation sur des critères essentiellement économiques,

Choix de la source de chaleur nécessaire à la distillation

(charbon, paille, fuel, fanes) sur des critères économiques ou énergétiques (ie en terme de balance commerciale).

De même la notion de production énergétique à l'ha est-elle d'un usage délicat.

\* Sur le prix du produit final au litre et le rapport

$$\frac{\text{Prix de la thermie produite}}{\text{Prix de la thermie super}}$$

Il faut en effet pour faire des comparaisons spécifier à quel usage est destiné le produit de fermentation.

- le rapport  $\frac{\text{Prix de la th produite}}{\text{Prix de la th super}}$  correspondrait à un usage combustible évidemment exclu.
- le prix du produit au litre sert de point de comparaison si l'on envisage une incorporation en petite quantité dans le supercarburant (au sens de la première étape du plan carburol). Ainsi voit-on qu'aucun produit n'est aujourd'hui compétitif à ce titre.
- Si l'on pense à une utilisation alcool pur comme carburant, il faut corriger le prix précédent en tenant compte de l'amélioration du rendement du moteur. On a avancé les coefficients de 1.15 et 1,6 pour l'éthanol et le méthanol ie que ceux-ci seraient compétitifs par rapport au super s'ils valaient respectivement 1,2 F/l et 0,8 F/l.

| FILIERES DE PRODUCTION                                | BILAN MATIERE ET ENERGETIQUE  | PCI DU PRODUIT FINAL<br>INTRANTS ENERGETIQUES              | PRIX DE REVIENT DU PRODUIT FINAL  | tep PRODUITE/ha an  | PRIX DE LA TH. PRODUITE<br>PRIX DE LA TH. SUPERCARBURANT |
|---|---|--|---|---|--|
| ETHANOL<br>EX-BETTERAVE                               | (culture) (transformation)<br>1 ha + 0,8tep + 0,8 tep<br>→ 41 hl d'éthanol + pulpes<br>(~ 2,1 Tep)                                  | 1,3  | 1,3 de transfor-<br>mation,<br>2,2 de matières<br>premières à<br>— 200 F/t<br>3,5 F/l           | 0,5 tep   | 3,7  |
| ETHANOL<br>EX-TOPINAMBOUR                             | (Culture) (transformation)<br>1 ha + 0,6tep + 0,8 tep<br>→ 41 hl d'éthanol + pulpes +<br>(~ 2,1 tep)<br>fanés (~ 0,8 tep)           | Sans les fanes<br>1,5<br>Avec les fanes<br>3,5             | 1,3 de transfor-<br>mation,<br>1,3 de matières<br>premières à<br>— 120 F/t<br>2,6 F/l           | Sans les fanes<br>0,7 tep<br>Avec les fanes<br>1,5 tep      | 2,8  |
| MELANGE<br>ACETONO-BUTYLI-<br>QUE EX-TOPINAM-<br>BOUR | (Culture) (transformation)<br>1 ha + 0,6tep + 1,3 tep<br>→ 29 à 35 Hl de mélange +<br>pulpes (~ 7 à 2,1 tep) +<br>fanés (~ 1,3 tep) | Sans les fanes<br>0,9 à 1,1<br>Avec les fanes<br>2,8 à 3,5 | 1,6à2 de matières<br>premières à<br>120 F/t<br>1,6à1,9 de trans-<br>formation.<br>3,2 à 3,9 F/l | Sans les fanes<br>-0,2 à+0,2<br>Avec les fanes<br>1,1 à 1,5 | 3 à 3,7  |
| MELANGE ACETONO<br>BUTYLIQUE<br>EX-BETTERAVE          | (Culture) (transformation)<br>1 ha + 0,8tep + 1,3 tep<br>→ 29 à 35 hl + pulpes<br>(~ 1,7 à 2,1 tep)                                 | de 0,8 à 1   | 2,7à3,1 de matiè-<br>res pre-<br>mières à<br>200 F/t<br><u>1,6à1,9</u><br>4,3 à 5 F/1           | - 0,4 à 0 tep   | 4 à 4,7  |

IV - CONCLUSIONS

L'extraction, par hydrolyse acide ou enzymatique, de produits fermentescibles à partir de produits ligno-cellulaires (paille, bois) semble une voie de recherche très intéressante mais n'est pas à même de fournir aujourd'hui de façon économique, la matière première nécessaire à la fermentation.

Dans ces conditions, parmi les différentes possibilités, deux plantes semblent être aujourd'hui de bons candidats pour la production, à une échelle industrielle, de sucres fermentescibles: la betterave et la topinambour.

Parmi les différents produits de fermentation, deux sont particulièrement intéressants, pouvant être produits avec de très bons rendements: il s'agit de l'éthanol et du mélange acétono-butylique.

Parmi les différentes filières envisagées, la production de MBA à partir de topinambour semble économiquement intéressante (3,5 F/l à comparer à 2,8 F/l pour le n Butanol produit à partir du pétrole).

ANNEXE 6

DONNEES GENERALES SUR L'UTILISATION DU  
TERRITOIRE, LA BIOMASSE PRODUITE, LA  
BIOMASSE DISPONIBLE.

---

I - LA BIOCONVERSION SOLAIRE THEORIQUE :

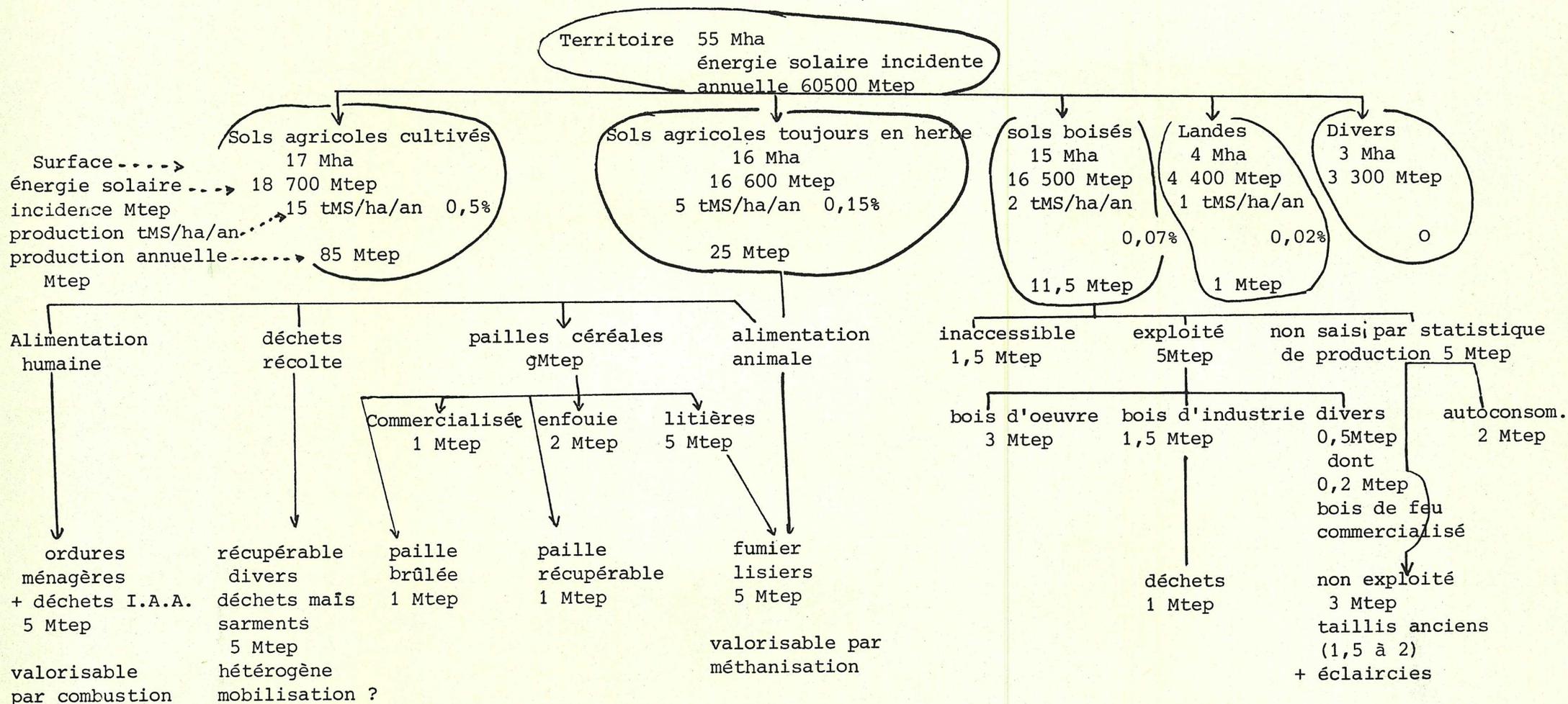
La France reçoit sous forme de rayonnement solaire une énergie moyenne de 1100 tep/ha/an. La biomasse agit comme un capteur transformant l'énergie solaire en énergie chimique contenue dans les glucides formés par photosynthèse ; le rendement élémentaire maximum, si toute l'énergie lumineuse était utilisée pour réduire le  $\text{CO}_2$ , est de l'ordre de 30 %. Or il faut tenir compte de la respiration et du métabolisme de la plante, et passer de l'échelle de la réaction élémentaire à celle d'une feuille puis d'une population végétale, et de l'échelle de temps élémentaire à celle d'une année. En moyenne sur l'année pour l'ensemble d'une culture traditionnelle en France l'énergie incidente se répartit comme suit :

10 % sont réfléchis,  
20 % traversent les tissus sans être absorbés,  
20 % sont réémis par rayonnement thermique dans  
l'air ambiant,  
les 50 % restants provoquent l'évaporation de  
l'eau sauf une petite partie (moins de 0,6%)  
qui se trouve stockée par photosynthèse.

II - UTILISATION DU TERRITOIRE

Le tableau 1 décrit l'utilisation du territoire et les estimations de biomasse produite. Notons que sur les

Tableau 1 : Utilisation du territoire et biomasse



33 Mha de sols agricoles, près de la moitié est occupée par des surfaces en herbe, et plus du quart par des céréales, 600 000 ha étant consacrés à la betterave industrielle. Les sols boisés représentent 15 Mha dont 13,5 de bois et forêts, 1,1 de bosquets, haies, alignements, et 0,4 de peupleraies. Enfin la rubrique divers recouvre essentiellement les sols bâtis et les routes.

Ce tableau fait apparaître le "gisement" de déchets exploitables. Nous excluons les ordures ménagères qui, trop hétérogènes, sont surtout susceptibles de valorisation par combustion directe, et les fumiers et lisiers qui par leur taux d'humidité se prêtent beaucoup mieux à une méthanisation. Alors les sources de déchets valorisables sont les pailles et résidus de récolte, et le bois.

### III - PAILLES ET RESIDUS DE RECOLTE

#### A / RESIDUS DE MAIS

Le maïs occupe 2,7 Mha et produit environ 7 MtMS de déchets (tiges feuilles et rafles). Leur forte teneur en eau (50 à 60 % dans la tige et les feuilles, 35 à 40 % dans les rafles) les pénalisent par rapport aux pailles. La mobilisation de ces déchets pose plusieurs types de problèmes :

1- il n'y a pas de technique de récolte sélective des grains et des déchets (récolte du grain par moissonneuse batteuse, récolte grain + rafle par corn picker pour la semence ou pour séchage sur cribs, ensilage).

2- l'enfouissement d'une partie des résidus est nécessaire pour maintenir la teneur en matière organique et la structure du sol.

Les rafles constituent actuellement le résidu le plus facile à récupérer particulièrement dans le Sud Ouest (utilisation de corn-pickers). Ainsi la Société Agrifurane (Agen) produit-elle du furfurool à partir de rafles ramassées

sur un rayon de 250 km (4500 t de furfurool par an pour 20 000 tMS). Enfin il existe des fours à rafles pour le séchage du maïs grain.

## B / PAILLES (blé et orge essentiellement)

Le tableau 2 résume la production et les utilisations de la paille. On ne récolte la paille aujourd'hui que sur environ 75 % des surfaces en grains ; sur les 25 % restant, on la brûle ou on l'enfouit.

### 1) Quantités disponibles à fin énergétique

On peut envisager de mobiliser la paille actuellement brûlée et une partie (30%) de la paille enfouie, soit 5 Mt. Enfin, une partie de la paille pour litière se détournera de cet usage par l'organisation d'un marché de la paille et le développement de bâtiments d'élevage à lisier. On peut raisonnablement penser que 6 Mt de paille sont disponibles soit 2 Mtep.

### 2) Localisation et stabilité de la paille disponible

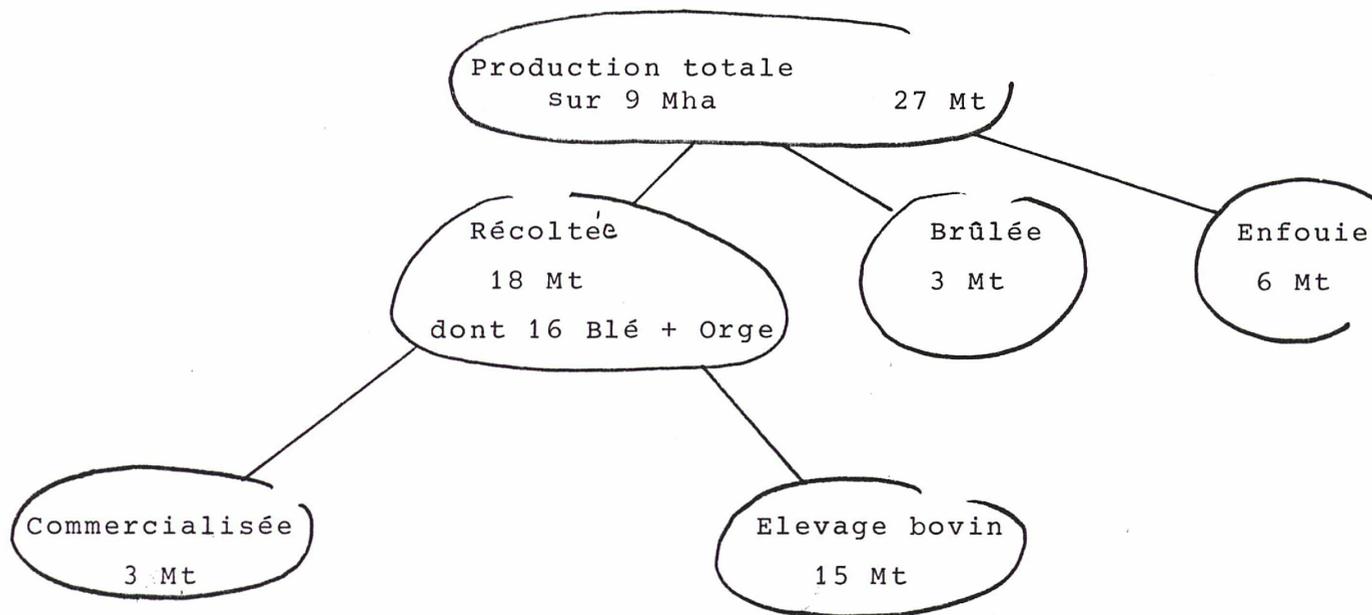
La plus grande partie des pailles disponibles est concentrée dans le Centre et la Champagne, ce qui est un atout pour une utilisation industrielle. Par contre, si la surface emblavée varie très peu d'une année à l'autre pour l'ensemble des céréales (1 à 2 %), les surfaces où la paille est récoltée subissent de fortes fluctuations (parfois plus de 20 % d'une année à l'autre) traduisant à la fois les conditions climatiques et les comportements des agriculteurs.

### 3) Coût et prix de marché (étude BERTIN actualisée)

Le coût de la paille est d'environ 260 F/t rendu usine, qui se décompose comme suit (en F/t) :

Tableau 2

- Paille de céréales -



| Elev. chevaux | Champignons | agglomérés | papier<br>carbon | exportation |
|---------------|-------------|------------|------------------|-------------|
| 1,8           | 0,5         | 0,1        | 0,1              | 0,5         |

|   |                |
|---|----------------|
| - marge de l'agriculteur                    | 75             |
| - mise en balle (densité 0,1) Main d'oeuvre | 37             |
| Lien  | 37             |
| - transport jusqu'au stockage ferme         | 37 à 70        |
| selon mécanisation,                         |                |
| - stockage                                  | 3 à 4 F/t/mois |
| - transport vers l'usine (50km)             | 56 à 75        |
| -----                                       |                |
| - Coût rendu usine                          | 243 à 300 F/t  |

Le coût moyen rendu usine est donc évalué à 260 F/t.

L'utilisation de matériel de surpressage (balles de densité 0,4) permettrait de réduire les coûts de transport d'un facteur 4 sans surcoût notable de l'opération de pressage. On peut de plus rationaliser davantage les chantiers et baisser ainsi le prix de revient rendu usine à 150 F/t. On voit que même à 260 F/t la paille est une matière intéressante (85% de matière sèche).

Mais le prix de marché de la paille est essentiellement spéculatif puisque la commercialisation de la paille est marginale et que les achats contractés ne sont pas de règle.

Néanmoins, il existe dans l'Oise une usine de deshydratation de luzerne et de pulpes de betterave qui fonctionne à la paille, sur un mode coopératif (300 agriculteurs). On constate par ailleurs que les chaudières à paille apparaissent, de plus en plus nombreuses et sophistiquées (alimentation automatique en balles, en granulats...).

#### C / CONCLUSIONS

1) Dans l'optique d'une fabrication de carburant, les quantités de sous-produits végétaux disponibles sont faibles.

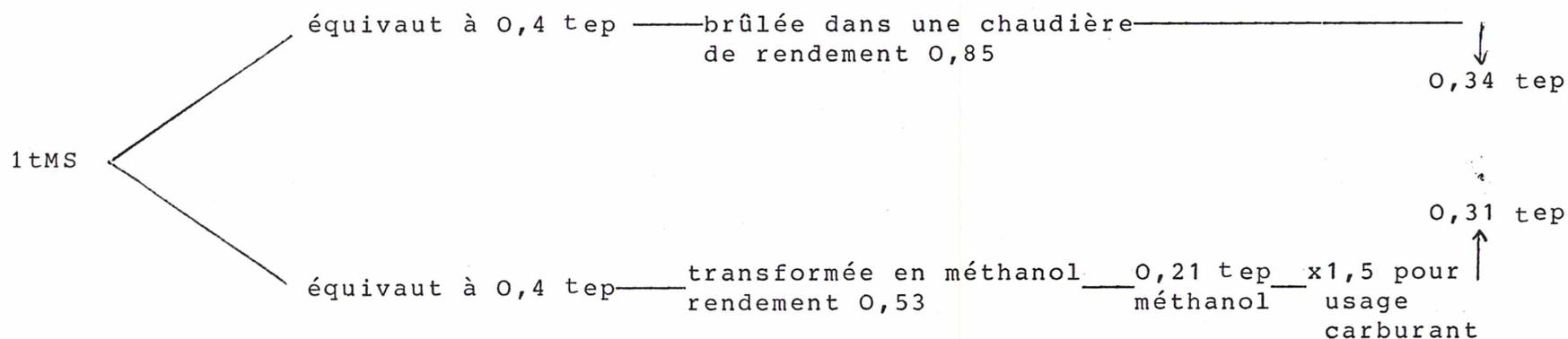
2) La faible densité de ces produits rend très chère la partie manutention, transport et stockage ce qui ferait préférer un usage local.

3) Il y a un besoin local de chaleur basse température : chauffage des locaux, séchage du maïs, deshydratation de luzerne, qui aura spontanément la préférence des agriculteurs soucieux de réduire leurs consommations pétrolières.

4) Enfin même du point de vue énergétique, il n'est pas forcément plus intéressant de fabriquer un carburant liquide que de faire brûler localement (voir schéma) ces sous-produits végétaux.

Ainsi une valorisation locale en circuit court par combustion directe nous paraît mieux adaptée à ces sous-produits végétaux.

BILAN ENERGETIQUE POUR LA COMBUSTION DIRECTE  
 OU LA TRANSFORMATION EN METHANOL D'UNE TONNE  
 DE MATIERE SECHE PAILLE.



Où l'on voit que le bilan énergétique serait plutôt meilleur dans le cas de la combustion en chaudière (à condition d'accorder la même valeur à des tep produites en chauffage et en combustion moteur : indépendance énergétique !).

### III - LE BOIS

L'annexe 7 est consacrée à l'étude des disponibilités en déchets de bois et en taillis anciens. Ses conclusions sont les suivantes :

- beaucoup de déchets de bois sont déjà recyclés, ce qu'il en reste est dispersé, la récolte en sera difficile et coûteuse.

- on connaît très mal les possibilités des taillis anciens. Il y aurait sans doute intérêt à les transformer en futaies pour redresser le déficit de notre balance commerciale extérieure. La structure morcelée de la forêt française est un obstacle pour la mise en oeuvre de futaies équiennes ou de taillis à courte rotation, mais on peut en tirer profit malgré tout dans d'autres formes de sylviculture (futaie jardinée). Néanmoins, l'orientation vers des taillis à courte rotation qui assurent un revenu à plus court terme, n'est pas irréaliste (voir annexe 3). Mais la concurrence entre bois de feu, bois de trituration et bois pour méthanol sera de toutes façons très vive puisque la papeterie accepte dès à présent des diamètres jusqu'à 5 cm, l'amélioration des procédés de blanchiment lui permettant d'admettre davantage d'écorce. Or il se dégage de l'étude du CERNA\* que seules trois régions en France : le Centre, Champagne-Ardennes, et la Bourgogne, permettraient l'installation d'une unité industrielle utilisant ce type de bois (ressource suffisante, concurrence pas trop vive).

### IV - CONCLUSIONS

Les déchets agricoles ou forestiers ne seront d'aucun secours pour la fabrication d'alcool carburant et trouveront une valorisation beaucoup mieux adaptée en circuit court, par combustion directe, ou recyclage local.

-----  
\* "Evaluation économique d'ensemble des effets d'un développement du bois énergie" CERNA 1981.

Les taillis anciens offrent une possibilité limitée et qui risque à terme de créer des tensions encore plus vives dans la concurrence pour l'approvisionnement des usines en bois. Des études plus détaillées sont nécessaires sur la Bourgogne, le Centre, et la Champagne-Ardenne.

ANNEXE 7LE BOIS : RESSOURCES DISPONIBLES.- PLAN -

## I - LA FORET FRANCAISE

A / STRUCTURE PHYSIQUE

B / STRUCTURE DE LA PROPRIETE

## II - PRODUCTION DE BOIS ET QUANTITE SUPPLEMENTAIRE MOBILISABLE :

A / PRODUCTION

B / QUANTITE SUPPLEMENTAIRE MOBILISABLE

1) approche globale

2) approche plus fine.

## III - A L'ECHELLE REGIONALE, RESSOURCE EN BIOMASSE ET USAGES CONCURRENTS

A / PATES, PAPIERS CARTONS

1) production

2) quelques données sur le marché

3) conclusion

B / FABRICATION DE PANNEAUX

1) production

2) le marché

C / LE BOIS DE FEU

D / LA QUANTITE SUPPLEMENTAIRE MOBILISABLE PAR REGION.

## IV - CONCLUSION

## I - LA FORET FRANCAISE

### A / STRUCTURE PHYSIQUE

Sur ses 55 Mha, la France possède une superficie boisée de 15 Mha qui se décompose en :

- 13,5 Mha de bois et forêts,
- 1,2 Mha de bosquets, haies et alignements,
- 0,3 Mha de peupleraies.

C'est la plus grande superficie boisée de la CEE (44 %) devant l'Allemagne Fédérale 7 Mha, l'Italie 6, la Grande Bretagne 2.

Mis à part le massif des Landes suffisamment homogène, la forêt française est très diversifiée et souvent à essences trop mélangées ce qui évite la propagation des maladies mais gêne l'exploitation. Elle est composée pour 55 % de feuillus, 26 % de résineux, 9 % de peuplement mixte, 10 % de garrigues, friches et clairières. Cette proportion d'un résineux pour deux feuillus explique le rendement médiocre moyen 2 tMs ha/an. Enfin, environ les deux tiers de la forêt française sont constitués de taillis et de taillis sous futaie.

### B / STRUCTURE DE LA PROPRIETE

La forêt publique regroupe 4,2 Mha (1,8 domaine de l'Etat, 2,6 des départements, communes et Etablissements Publics) ; elle est soumise au régime forestier et gérée par l'Office National des Forêts. Elle peut donc être l'objet d'une politique unique.

La forêt privée compte 10,5 Mha répartis entre

1 600 000 propriétaires. Un tiers de cette forêt appartient à quelques 3000 forestiers possédant plus de 100 ha, un autre tiers à 75 000 forestiers possédant de 10 à 100 ha, le troisième tiers à 1 500 000 propriétaires de moins de 10 ha. La forêt française est donc très morcelée. Il est intéressant de connaître le nombre d'exploitations agricoles ayant des bois ou forêts, car les motivations et les possibilités d'exploitation pour un agriculteur sont très différentes de celles d'un petit propriétaire forestier, citadin, pour qui la forêt peut difficilement représenter autre chose qu'un patrimoine. Le tableau suivant apporte quelques éclaircissements (données SCEES 1977).

| Surface en bois et forêt de la propriété.                 | - de 10ha | entre 10 et 100ha | + de 100ha | TOTAL     |
|---|-----------|-------------------|------------|-----------|
| Nombre de propriétés.....                                 | 1 500 000 | 75 000            | 3 000      | 1 600 000 |
| Pour une surface totale de (Mha)                          | 3,5       | 3,5               | 3,5        | 10,5      |
| dont :  |           |                   |            |           |
| Nombre d'exploitations agricoles ayant des bois et forêts | 520 000   | 44 000            | 2 000      | 566 000   |
| Pour une surface totale de (Mha)                          | 1,1       | 1,0               | 0,5        | 2,6       |

La surface de bois et forêt incluse dans des exploitations agricoles n'est donc pas négligeable, ce qui est un point positif pour une meilleure valorisation.

Le déficit de la filière bois a donné lieu à de nombreux rapports sur la forêt depuis 1970 et l'action des pouvoirs publics s'est concentrée sur la mise en place de "plans de gestion" qui concernent actuellement 33 000 propriétaires de plus de 25 ha, sur l'innovation pour une exploitation plus rationnelle et une modernisation de toute la filière bois en aval de la forêt.

## II - PRODUCTION ET QUANTITE SUPPLEMENTAIRE MOBILISABLE

### A / PRODUCTION

La production des exploitations forestières se décompose comme suit : (en Mm<sup>3</sup> source service des forêts 1979).

Bois d'oeuvre \* résineux 10,3 dont : - Sapin Epicéa Douglas  
Mélèze 4,7  
- Pin maritime 3,4  
- Autres Conifères 2,2  
\* feuillus 8,3 dont - Chêne 3,6  
- Hêtre 2,1  
- Autres feuillus 2,6

Bois de trituration \* Feuillus 5,8  
\* conifères 2,8

Autres bois d'industrie \* bois de mines 0,4  
\* poteaux 0,2  
\* divers 0,4

Bois de feu commercialisé .... 1,2

---

PRODUCTION TOTALE (COMMERCIALISEE) 29,4 Mm<sup>3</sup>.

### B / QUANTITE SUPPLEMENTAIRE MOBILISABLE

#### 1) Approche globale

Les estimations du COMES partent d'un accroissement annuel moyen de 2 t MS/ha soit 5 m<sup>3</sup>/ha. L'accroissement du volume sur pied est donc de 70 à 75 Mm<sup>3</sup> pour l'ensemble des surfaces boisées. La récolte en mobilise 30, on estime que 10 à 15 sont inaccessibles, environ 10 auto-consommés en bois de feu, et on chiffre alors à une vingtaine de millions de m<sup>3</sup> la partie inexploitée composée pour plus de la

moitié de taillis anciens, pour le reste de rémanents de coupe et de petits bois d'éclaircies. Cette partie inexploitée n'est pas entièrement mobilisable et il faut lui ajouter les déchets d'industrie du bois. Le COMES donne de la quantité supplémentaire mobilisable la ventilation suivante (en Mm<sup>3</sup>r)

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| - Déchets d'exploitation      | 1,7 à 3,3   |
| - Petits bois d'éclaircies    | 1,5 à 3,5   |
| - Taillis                     | 8,5   |
| - Déchets d'industrie du bois | 4 à 5   |
| -----                         |   |
| TOTAL Q.S.M.                  | 15,7 à 20,3 Mm <sup>3</sup> r soit<br>4 à 5 Mtep. |

## 2) Approche plus fine

Le CERNA (Centre d'Etude sur les Ressources Naturelles) a réalisé, dans une étude "Analyse spatiale par type de produit ligneux de la concurrence bois de feu bois d'industrie" 1981, une estimation plus fine de la Q.S.M. par différence entre :

\* D'une part la ressource en bois non sciable (sous-produits d'exploitation et volume sur pied des taillis âgés) et en déchets d'industrie du bois,

\* et d'autre part les prélèvements en bois d'industrie de chauffage et les quantités de déchets utilisés.

L'étude se base sur :

- une enquête réalisée par l'intermédiaire des SRAF sur les rémanents de coupe de bois de feu,
- un travail du C.T.B. sur les déchets et les sous-produits forestiers,
- les données de l'Inventaire Forestier National pour les surfaces volumes, sur pied et accroissement annuel (données à actualiser),

- l'enquête de branche des Services Forestiers pour les volumes commercialisés par département,
- l'autoconsommation en bois de feu a été extrapolée à partir de l'enquête du SCEES sur les activités sylvicoles des exploitations agricoles (1977)

L'étude au niveau national conclut à une quantité supplémentaire mobilisable (Q.S.M.) qui se décompose ainsi :  
(en Mm<sup>3</sup>)

|                                      |                  |     |
|--------------------------------------|------------------|-----|
| * Rémanents de coupe                 |                  |     |
| Feuillus                             | Ø 7cm            | 0,4 |
|                                      | Ø 7cm            | 2,5 |
| Résineux                             |                  | 1   |
| * Déchets d'Industrie du bois        |                  |     |
|                                      | Hypothèse faible | 1,3 |
|                                      | Hypothèse forte  | 2   |
| * Taillis agés de plus de 30 ans 8,6 |                  |     |
|                                      | (+6 de Ø 7cm)    |     |

L'évaluation CERNA des déchets d'industrie du bois non mobilisés est beaucoup plus faible que celle du COMES et semble réaliste. Une autre étude réalisée dans le massif de NANCY concluait même à l'utilisation quasi totale des déchets d'industrie.

Par contre, l'estimation de la quantité supplémentaire mobilisable à partir des taillis de plus de trente ans aboutit au même chiffre. Le CERNA a poussé plus loin en s'intéressant à ce problème à l'échelle régionale.

### III - A L'ECHELLE REGIONALE, RESSOURCE EN BIOMASSE ET USAGES CONCURRENTS

Cette même étude menée au niveau régional a permis d'obtenir la ressource régionale en rémanents de coupe et déchets de scierie non mobilisés (tableau 1) et la ressource

Tableau 1      CERNA

Q.S.M. régionale annuelle en rémanents  
feuillus et déchets de scierie

Unité  $10^3 \text{ m}^3$  ( r )

| Régions                       | Rémanents de coupes                      |  | Déchets d'industrie de sciage |                 |
|-------------------------------|--|--|-------------------------------|-----------------|
|                               | Feuillus<br>( $\emptyset > 7\text{cm}$ ) | Feuillus<br>( $\emptyset < 7\text{cm}$ ) | Hypothèse faible              | Hypothèse forte |
| Champagne-Ardennes            | 36                                       | 219                                      | 60                            | 88              |
| Picardie                      | 31                                       | 187                                      | 48                            | 70              |
| Haute-Normandie               | 17                                       | 101                                      | 29                            | 43              |
| Centre                        | 29                                       | 172                                      | 67                            | 99              |
| Basse-Normandie               | 16                                       | 91                                       | 30                            | 44              |
| Bourgogne                     | 33                                       | 191                                      | 57                            | 84              |
| Nord                          | 9  | 52                                       | 13                            | 19              |
| Lorraine                      | 48                                       | 288                                      | 151                           | 222             |
| Alsace                        | 19                                       | 116                                      | 80                            | 118             |
| Franche-Comté                 | 27                                       | 209                                      | 108                           | 158             |
| Pays de la Loire              | 17                                       | 99                                       | 42                            | 61              |
| Bretagne                      | 10                                       | 57                                       | 34                            | 50              |
| Poitou-Charentes              | 17                                       | 99                                       | 35                            | 52              |
| Aquitaine                     | 25                                       | 153                                      | 229                           | 336             |
| Midi-Pyrénées                 | 22                                       | 126                                      | 46                            | 68              |
| Limousin                      | 17                                       | 98                                       | 42                            | 61              |
| Rhône-Alpes                   | 12                                       | 88                                       | 130                           | 191             |
| Auvergne                      | 16                                       | 97                                       | 82                            | 121             |
| Languedoc-Roussillon          | -  | 17                                       | 30                            | 44              |
| Provence-Alpes<br>Côte d'Azur | -  | -  | 15                            | 22              |
| <b>Total</b>                  | <b>401</b>                               | <b>2 460</b>                             | <b>1 328</b>                  | <b>1 951</b>    |

Tableau 2 CERNA

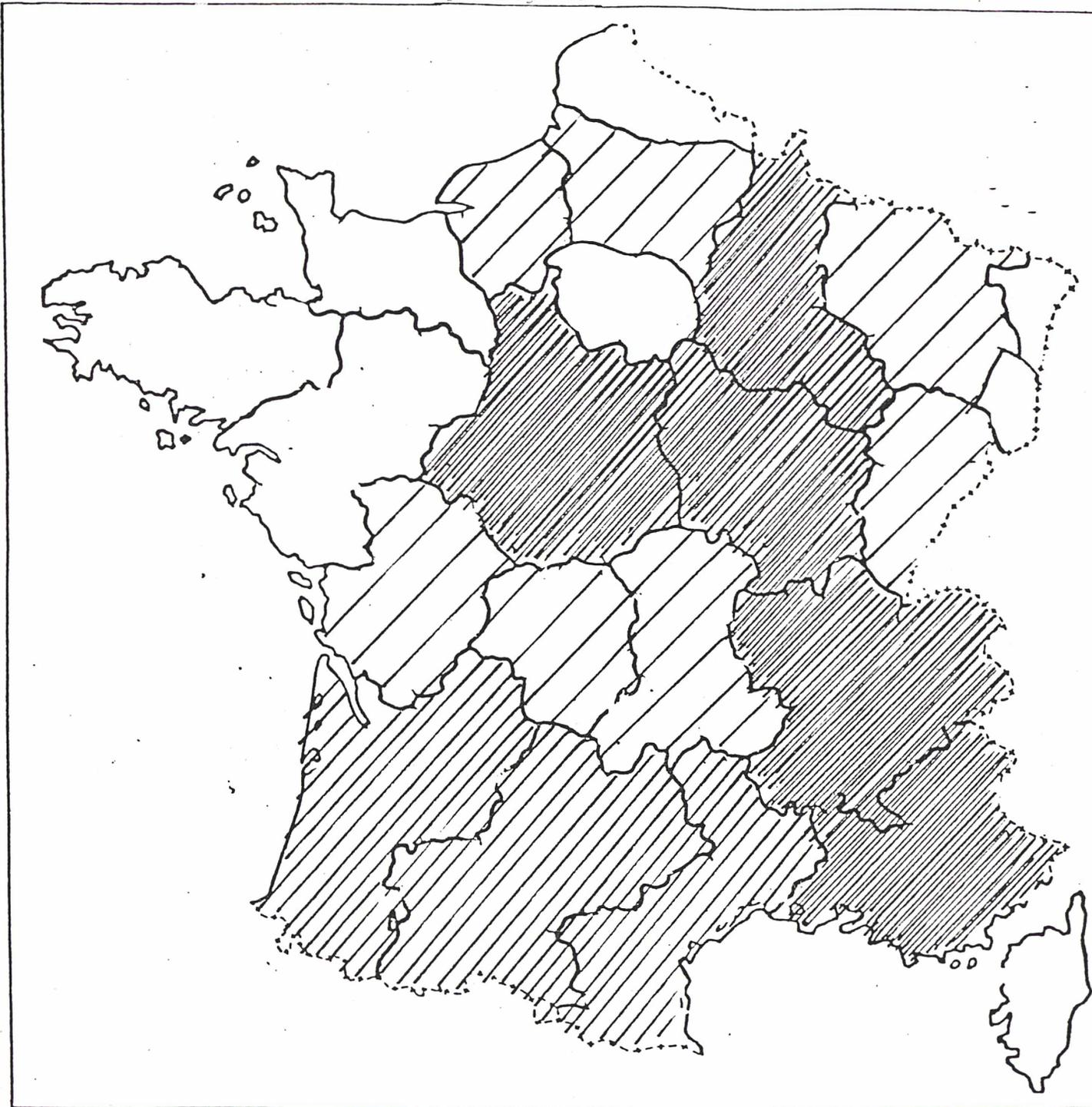
Récolte annuelle sur les taillis (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> r)

| <u>Régions</u>          | <u>Estimation bois<br/>de chauffage</u> | <u>Estimation bois<br/>d'industrie</u> | <u>Total</u> |
|-------------------------|---|--|--------------|
| 1 - Champagne *         | 107                                     | 514                                    | 621          |
| 2 - Picardie            | 62                                      | 404                                    | 466          |
| 3 - Hte Normandie       | 26                                      | 189                                    | 215          |
| 4 - Centre              | 300                                     | 189                                    | 489          |
| 5 - Basse-Normandie     | 81                                      | 166                                    | 247          |
| 6 - Bourgogne           | 186                                     | 234                                    | 420          |
| 7 - Nord                | 22                                      | 99                                     | 121          |
| 8 - Lorraine *          | 214                                     | 405                                    | 619          |
| 9 - Alsace *            | 44                                      | 36                                     | 80           |
| 10- Franche-Comté *     | 218                                     | 217                                    | 435          |
| 11- Pays de la<br>Loire | 127                                     | 18                                     | 145          |
| 12- Bretagne            | 225                                     | 3                                      | 228          |
| 13- Poitou              | 224                                     | 172                                    | 396          |
| 14-Aquitaine            | 504                                     | 480                                    | 984          |
| 15- Midi-Pyrénées       | 475                                     | 671                                    | 1 146        |
| 16- Limousin            | 240                                     | 345                                    | 585          |
| 17- Rhône-Alpes         | 485                                     | 63                                     | 548          |
| 18- Auvergne            | 148                                     | 68                                     | 216          |
| 19- Languedoc           | 240                                     | 99                                     | 339          |
| 20- Provence            | 355                                     | -                                      | 355          |
| <b>Total</b>            | <b>4 283</b>                            | <b>4 372</b>                           | <b>8 655</b> |

\* Pour ces régions nous avons ajouté les affouages

CERNA

Ressources potentielles en bois de taillis :  
Surfaces des taillis à l'année de l'inventaire  
par régions



moins de 130 000 ha



de 130 000 à 300 000 ha



de 300 000 à 400 000 ha



plus de 400 000 ha

ce régionale à partir des taillis de plus de trente ans (tableau 2). A ce stade, 7 régions présentent une forte quantité de biomasse essentiellement à partir des taillis anciens : Champagne-Ardennes, Centre, Bourgogne, Midi-Pyrénées, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur. S'y ajoutent à une moindre échelle la Picardie, la Lorraine, la Franche-Comté et l'Aquitaine par leurs rémanents de coupe. Pour déterminer la quantité supplémentaire effectivement mobilisable il faut s'intéresser à la concurrence qui peut exister sur ce marché :

#### A / PATES, PAPIERS, CARTONS

##### 1) Production

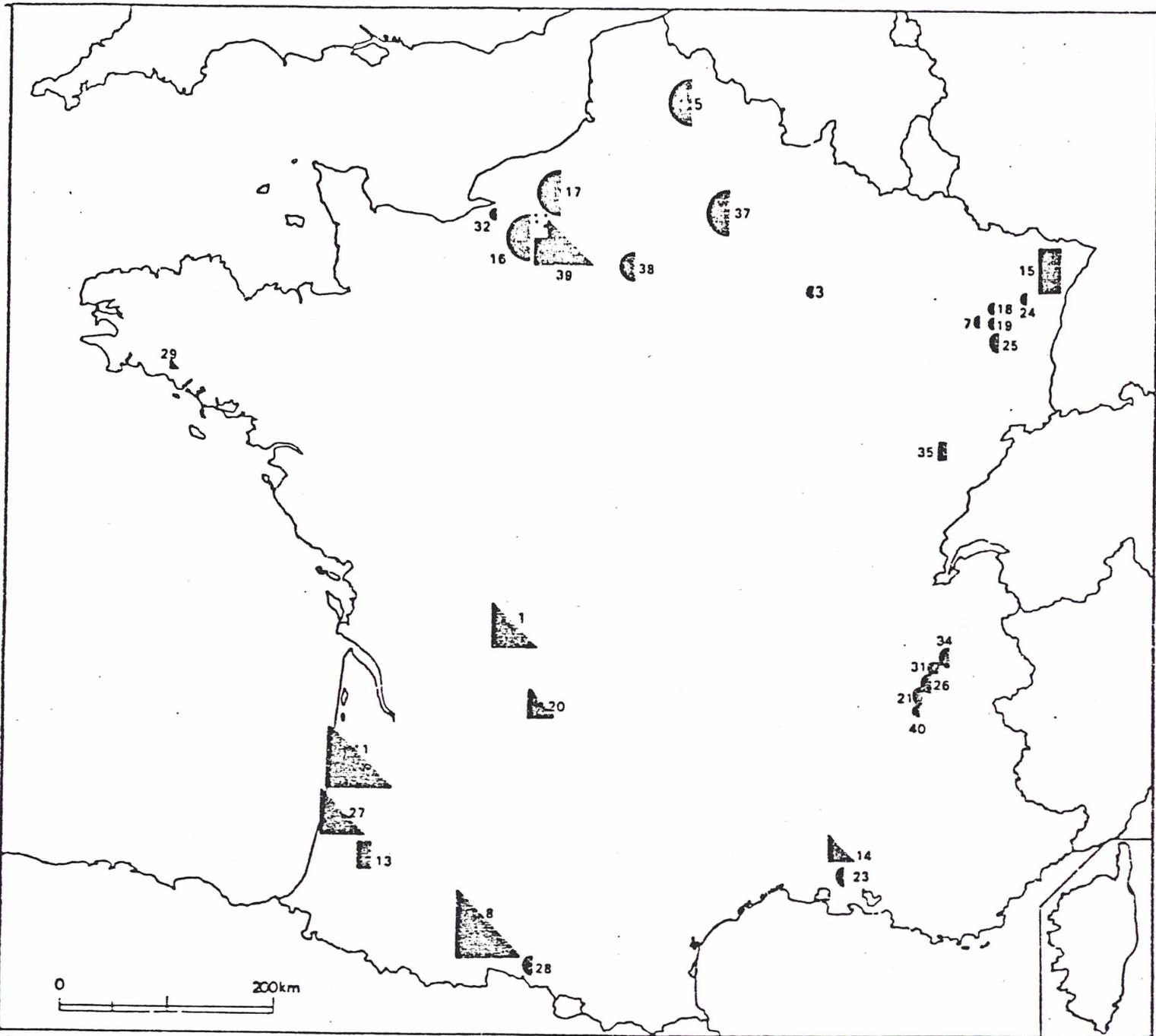
En 1979, la production s'est élevée à :

|                     |                         |   |
|---------------------|-------------------------|---|
| 1,9 Mt de pâte dont | 0,4 de pâte mécanique   | pour une valeur<br>totale de :<br>3,4 Milliards de F. |
|                     | 0,2 de pâte mi-chimique |   |
|                     | 1,3 de pâte chimique    |   |

et 5,3 Mt de papiers et cartons pour une valeur de 15,7 milliards de francs. Le tableau 3 du déficit de la balance du commerce extérieur de la filière bois montre ainsi que nous dépendons de l'étranger pour la moitié de notre consommation de pâte à papier ce qui est préoccupant.

La consommation de bois (français ou étranger) nécessaire à la production des pâtes nationales est de 16 Mm<sup>3</sup> répartis comme suit :

|                                  |                                |                                 |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| *sous forme de bois              | *sous forme de pâtes importées | *sous forme de papiers importés |
| 7,2 Mm <sup>3</sup>              | 6,4 Mm <sup>3</sup>            | 2,4 Mm <sup>3</sup>             |
| dont Français 6,2Mm <sup>3</sup> |                                |                                 |
| Etranger 1,0Mm <sup>3</sup>      |                                |                                 |



Federation des Syndicats de Producteurs de Pâtes

| Usines produisant             | moins 10.000 t. | 10.000-50.000 t | 50.000-100.000t | 100.000-150.000 | plus 150.000 t. |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| pâte mécanique ou mi-chimique | ●               | ●               | ●               | ◐               | ◑               |
| pâte au sulfite               | ■               | ■               | ■               | ■               | ■               |
| pâte au sulfate               | ▲               | ▲               | ▲               | ▲               | ▲               |

Quant à la nature du bois consommé, les usines de pâtes françaises utilisent 58 % de résineux (dont 23 de délignures de résineux) et 42 % de feuillus (dont 4 de délignures de feuillus) pour un total de 7,2 Mm<sup>3</sup>.

Traditionnellement les usines de pâtes n'utilisaient les rondins qu'au dessus du diamètre 7 cm. Aujourd'hui l'amélioration des procédés de blanchiment permet de descendre à 5 cm et d'accepter donc des taux d'écorce plus importants. On voit donc qu'inévitablement la biomasse mobilisée à des fins énergétiques viendra en concurrence avec ce secteur.

## 2) Quelques données sur le marché

Le marché de la pâte est entièrement international, avec des cours (2250 F/t de pâte chimique blanchie en 1980) qui peuvent fluctuer fortement dans la mesure où la pâte américaine exportée, ne représentant qu'une faible partie de la production des U.S.A., peut d'une année sur l'autre inonder le marché mondial. Depuis trente ans, on assistait à des cycles du marché des pâtes : la croissance régulière à un niveau relativement élevé assurait une bonne conjoncture à l'industrie papetière, ce qui provoquait un développement de production entraînant des accroissements de capacité. L'excédent succédant à la pénurie créait des phases de haute et de basse conjoncture. Actuellement du fait de l'inflation généralisée et de la chute de croissance de la consommation, on assiste à un ralentissement des investissements dans le secteur et à une réduction relative de l'offre en pâtes marchandes. Les trois facteurs qui dominent le marché sont la demande, le cours du dollar et le niveau des stocks de pâte chimique marchande.

La situation de l'industrie de la pâte française est particulièrement délicate du fait de la vétusté des usines - l'investissement n'a pas été réalisé à temps, compte tenu de la survie difficile - et du prix de la matière pre-

BALANCE DU COMMERCE EXTERIEUR EN  
BOIS ET PRODUITS DERIVES

en milliards de Francs - 1979 -  
Service des Douanes.

|  | EXPORTS<br>(FOB) | IMPORTS<br>(CAF)       | SOLDE  |
|--|------------------|------------------------|--------|
| Produits d'exploitation forestière et de scierie             | 1,65             | 4,39                   | - 2,74 |
| Dont feuillus (grumes et sciages)                            | 1,17             | 1,99                   | - 0,82 |
| bois indigènes)  |                  | Bois tropicaux         |        |
| .sciages conifères   | 0,08             | 1,77<br>(bois du nord) | - 1,69 |
| .bois de trituration feuillus                                | 0,22             | 0,17<br>conifères      | + 0,05 |
| Travail mécanique du bois (placages, panneaux, menuis. ind.) | 2,01             | 2,12                   | - 0,11 |
| Pâtes et vieux papiers                                       | 0,64             | 3,09                   | - 2,45 |
| Papiers et cartons   | 3,33             | 4,24                   | - 0,91 |
| Meubles et sièges en bois                                    | 1,02             | 3,36                   | - 2,34 |

Déficit global de la branche 8,6 milliards de Francs.

mière.

En 1980 :

( pins (rondins 2 m brut bord de route )  
 ( (délignures, plaquettes de déchets,) 120 à 130 F/T

( feuillus (essences en mélange rondins ) 115 à 120 F/T  
 ( (2m bord de route , )  
 ( (plaquettes de déchets, écorcé, ) 110 à 120 F/T

source : syndicat des fabricants de pâtes à papier.

Par contre, la pâte U.S. est presque exclusivement fabriquée à partir de déchets, délignures, dans des usines scieries intégrées.

### 3) Conclusion

La situation des fabricants de pâtes à papier français est très difficile bien que la conjoncture ne soit pas défavorable aujourd'hui.

Or ce secteur est stratégique et on ne peut pas retenir le scénario catastrophe où l'industrie papetière serait balayée en France. Ainsi la localisation des usines de pâtes (shéma 4) est un facteur important pour l'analyse de la concurrence régionale en bois d'industrie (compte tenu d'autre part de ce que les usines de pâtes ont un rayon d'approvisionnement qui dépasse souvent 200 km).

## B / FABRICATION DE PANNEAUX

### 1) Production

La France a produit en 1979 :

0,54 Mm<sup>3</sup> de contreplaqués,

2,19 Mm<sup>3</sup> de panneaux de particules,

0,22 Mm<sup>3</sup> de panneaux de fibres

à partir de 2,7 Mt de bois composé de 22 % de résineux (dont 10 de délignures), de 67 % de feuillus (dont 10 de délignures) et de 11 % de déchets achetés.

## 2) Le marché

Le marché des panneaux est très local - c'est un matériau qu'on fait voyager le moins possible - D'autre part, il est à peu près saturé et on n'envisage donc pas de création de nouvelles unités. La concurrence se fera sur les usines déjà implantées. Notons qu'elles ont un rayon d'approvisionnement qui dépasse rarement 150 Km et ne sont pas très exigeantes sur l'essence et la qualité du bois.

## C / LE BOIS DE FEU

L'analyse du CERNA dégage que :

- les quantités commercialisées sont marginales par rapport à celles autoconsommées,
- le marché concerne un grand nombre d'acteurs, en circuit court et souvent en "marché parallèle" : le propriétaire rémunère le travail d'exploitation pratiqué par un voisin par la moitié de la récolte, l'autre moitié étant destinée à sa propre consommation ou à la vente.
- ce marché représente des quantités importantes puisque pour huit régions les prélèvements en bois de chauffage sur les taillis sont supérieurs à ceux de la trituration.

Le renouveau de la demande en bois de chauffage est une concurrence sérieuse vu le prix beaucoup plus intéressant du bois de feu pour le propriétaire forestier. Cependant la demande en bois de feu s'oriente vers certaines essences feuillues (chênes), laissant à l'industrie de trituration l'usage exclusif d'autres essences (châtaignier)

beaucoup moins propres à la combustion directe.

D / LA QUANTITE SUPPLEMENTAIRE MOBILISABLE PAR  
REGION

Le tableau 5 (CERNA) explicite les estimations de récolte sur les taillis et la Q.S.M. des taillis par régions. Ainsi la concurrence étudiée plus haut se traduit-elle au niveau régional et montre l'existence :

1) De régions à fortes ressources, faiblement mobilisées par la trituration : Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon, Rhône-Alpes, Provence-Côte d'Azur. La concurrence y serait faible mais compte tenu du relief et de la fragilité des forêts méditerranéennes, on écartera la possibilité d'une unité industrielle nouvelle sur ces sites.

2) De régions à ressources moyennes, faiblement mobilisées : Auvergne et Pays de la Loire.

3) Des régions à fortes ressources, assez peu mobilisées : Centre, Champagne-Ardennes, Bourgogne avec une Q.S.M. annuelle totale de 2,9 Mm<sup>3</sup>. Ce sont donc les seules localisations possibles d'une unité industrielle mobilisant ce type de bois. Il faut néanmoins être conscient que ce choix peut facilement à moyen terme faire naître des tensions importantes sur l'approvisionnement, des études complémentaires, plus précises et centrées sur ces régions seraient un préalable indispensable.

IV - CONCLUSION

- \* Les déchets de sciage n'offrent pas de possibilité d'implanter une unité industrielle de transformation, et trouveront une valorisation locale.
- \* Seules les régions Centre, Champagne-Ardennes et Bourgogne pourraient offrir une telle possibilité grâce à de fortes ressources en taillis et une concurrence faible.

ANNEXE 8LES CULTURES ENERGETIQUES CELLULOSIQUES

L'introduction de cultures cellulósiques à haut rendement en matière sèche à l'hectare s'est d'abord faite au BRESIL et en AFRIQUE DU SUD sous forme de taillis cultivés, principalement d'eucalyptus, pour une production de charbon de bois. Aujourd'hui on pourrait penser à fabriquer du méthanol en France surtout à partir de deux types de cultures cellulósiques, les taillis cultivés à courte rotation et la canne de Provence.

I - LES TAILLIS A COURTE ROTATIONA / TECHNIQUE CULTURALE

Deux séries d'essais ont été menées en France par l'AFOCEL et le CTGREF sur des taillis cultivés de peupliers. Le peuplier a besoin d'une terre assez fertile de type agricole et d'un niveau d'eau peu profond. Les boutures sont plantées en ligne espacées de 2,50 m pour permettre le passage des engins. L'espacement optimal sur la ligne n'est pas bien déterminé mais au bout d'une année la population devrait être de 4 à 6 000 pieds/ha ; la densité semble peu influencer sur le rendement mais par contre après deux coupes un étalement en berceau des cépées peut gêner la mécanisation. Après l'ensouchement qui demande 2 ou 3 ans, le taillis cultivé subit plusieurs coupes rases espacées de 3 à 7 ans. Au bout de 15 à 30 ans, les souches sont arrachées et le cycle recommence.

L'essai AFOCEL réalisé sur une terre particulièrement favorable (ancienne pépinière) avec un traitement très soigné (passage de rotavator, binages manuels) a permis

d'obtenir avec une rotation sur 5 ans un rendement excellent de 12 t MS/ha/an. On peut envisager une rotation plus courte (3 à 4 ans) pour un usage non papetier si on admet des taux d'écorce relativement importants.

L'essai CTGREF a été mené sur d'anciennes terres agricoles riches, avec, après la mise en place, entretien mécanique des entrebandes (broyeur à axe vertical) et bina-ge chimique sur les lignes. Aucune fertilisation n'a été apportée. Le rendement obtenu est de 6 t MS/ha/an pour des rotations de 3, 4 et 5 ans. Le CTGREF estime qu'il sera difficile de dépasser 10 t MS/ha/an dans les conditions normales sans apport excessif d'engrais.

#### B / ESTIMATION DES COÛTS DE PRODUCTION

Ils se décomposent de la façon suivante :

\* Prix de l'installation :

|  |       |
|--|-------|
| Préparation du sol, nettoyage chimique | 1 200 |
| Labour et finition                     | 650   |
| Préparation des boutures               | 420   |
| Mise en place                          | 630   |
| Entretiens mécaniques                  | 900   |
| Entretiens sur ligne (chimiques)       | 1 200 |
|  | <hr/> |
|  | 5 000 |

\* Prix de la location du sol :

On peut l'estimer de 400 à 600 F/ha pour un bon sol dont on espère un rendement de 30 t humide sur pied/ha, ou de 100 à 300 F/ha pour un sol moins bon de rendement, 20 t humide sur pied/ha. (taux d'humidité du taillis de peuplier sur pied 53 %)

\* Un taux d'actualisation de 4 % en francs constants.

On obtient alors un coût de production de 35 à 45 F la tonne humide sur pied (chiffre AFOCEL et CTGREF).

La tonne humide sur pied des taillis naturels n'est qu'à 25 F, mais sa récolte est plus difficile et les deux origines taillis naturel et taillis cultivé fournissent finalement un bois rendu usine à 180 à 200 F/t humide.

Le taillis de peuplier à courte rotation est donc compétitif, et l'AFOCEL estime que même s'il reste aujourd'hui quelques recherches à mener, l'essentiel est déjà acquis pour un développement dans cette voie.

Pourtant le peuplier a besoin d'une bonne terre de type agricole ce qui limitera fortement son implantation, la comparaison en revenu à l'hectare avec une culture traditionnelle étant presque toujours à son désavantage. Il semble pourtant que dans certaines conditions il puisse se substituer à une culture agricole - il y a une possibilité de projet en Sarthe en remplacement de maïs - D'autre part de vives tensions sociologiques peuvent apparaître dans cette concurrence avec des terres agricoles car ceci pourrait être un moyen pour un propriétaire foncier "d'enlever la terre au fermier".

En conséquence, des essais ont été menés sur des essences moins exigeantes : l'eucalyptus qui exige une terre pauvre (de type forestier) car il ne supporte pas la concurrence avec d'autres plantes. Les problèmes à résoudre sont la sélection, l'adaptation au froid. Les essais AFOCEL ont commencé en 1980 sur 70 ha, avec pour but d'avoir en 82-83 un nombre suffisant de clones à proposer. On estime que le taillis d'eucalyptus donnera le même prix de revient de la tonne sur pied que le peuplier, et également le même rendement. Par contre la rotation est de 8 à 12 ans. Tous les essais portent sur l'Ouest d'une ligne Nantes-Perpignan qui paraît la plus propice du point de vue climatique. L'arrière pays méditerranéen pourrait aussi être favorable, sous réserve.

Enfin d'autres schémas sont à l'étude : certains

résineux qui font des rejets de souche tels le "sequoia toujours vert" et d'autres espèces chinoises ou américaines. Les essais démarrent et devraient aboutir dans quatre ans. Ce type de résineux permettrait une technique d'exploitation partielle du taillis artificiel pour en laisser une fraction en futaie.

Ainsi à brève échéance les taillis à courte rotation pourraient se développer en France. Ils permettent de multiplier par 10 le rendement du taillis naturel tout en étant compétitif pour le prix rendu usine.

## II - LA CANNE DE PROVENCE (Arundo Donax L.)

C'est une espèce spontanée, typique des climats méditerranéens. La plante est vivace, à reproduction exclusivement végétative, et se présente sous forme de touffes de tiges à croissance très rapide atteignant 3 à 6 m de hauteur et jusqu'à 3 cm de diamètre. Ses rhizomes traçants colonisent rapidement le sol. Cette plante n'est étudiée que depuis 1963 dans le cadre d'une action concertée DGRST entre l'INRA et l'Industrie Papetière (La Rochette-Cenpa principalement) en vue de produire un complément de ressources pour la fabrication de pâte à papier. Ce projet a été abandonné après une phase de recherche et la plantation de 300 ha.

### A / TECHNIQUE CULTURALE

La canne de provence aime le soleil et l'eau. Elle s'adapte très bien le long de la Méditerranée, sur une profondeur de 100 à 200 Km environ. On pourrait envisager de l'adapter en bordure des Pyrénées et sur le rivage de l'Atlantique.

Il lui faut un terrain perméable et bien drainé, les terres alluvionnaires lui conviennent très bien. Après une préparation du sol classique avec sous-solage éventuel

pour régulariser l'économie de l'eau, on place dans des sillons les rhizomes prélevés sur souche ; l'opération se fait de janvier à mars ; l'interligne actuellement adopté est de 2 m à 2 m 50. Les travaux annuels d'entretien se limitent à une fertilisation, une façon superficielle et l'irrigation (les deux premières années il faut de plus réaliser un désherbage chimique).

#### B / RECOLTE, RENDEMENT

La première année le rendement en matière sèche est faible : 3 à 5 t MS/ha) et on ne fait pas de récolte. La deuxième année il est de 10 à 15 t, 20 t la troisième année et il fluctue ensuite autour de 25 t.

On obtient ainsi sur 10 ans d'exploitation une moyenne de 15 à 20 t MS/ha dont 15 % de feuilles et graines.

La récolte se fait du 15 Décembre jusqu'au 15 Mars ; au moment de la récolte les cannes contiennent 50 % d'eau ce qui a amené dans une optique papetière à concevoir deux principe de récolte assurant un stockage dans de bonnes conditions de conservation :

1) la récolte est faite par une faucheuse-hâcheuse normalement utilisée pour les fourrages et dont le CNEEMA a modifié le bec cueilleur. On obtient alors des copeaux de 4 à 6 cm (environ 150 m<sup>3</sup>/ha !) qui sont transportés, desséchés à 15 % d'eau, et stockés.

2) la récolte est faite par une machine conçue pour la canne à sucre qui délivre des tronçons de 30 cm qui se conservent pendant plusieurs mois de façon satisfaisante sur le champ puis sont transportés, séchés et stockés.

#### C / PERSPECTIVE ECONOMIQUE

En 1973, dans le cadre de l'action DGRST on esti-

mais que pour un prix de 150 F/t de canne sèche entrée usine, il aurait été facile de réunir les 20 000 ha nécessaires pour le projet papetier, ce qui semble mettre la canne sèche au prix du bois.

Par la suite, a été lancé en 1979 le projet d'auto-production d'énergie dans la même exploitation agricole à partir de la canne de Provence. La Société du Domaine du Grand Manusclat envisage dans un premier temps de couvrir en totalité les besoins de l'entreprise en chaleur (séchage de la luzerne, chauffage des serres et des locaux) grâce à 150 ha de Cannes (sur 750) et aux déchets inutilisés (pailles...), puis dans un deuxième temps remplacer l'énergie électrique EDF par du gaz pauvre utilisé directement ou sous forme d'énergie électrique. Les participants à ce projet sont le CNEEMA et l'INRA Montpellier et la Société d'ingénierie SYNERGIE.

ANNEXE 9

## LES CULTURES ENERGETIQUES AGRICOLES

Nous nous intéresserons ici principalement à la betterave et au topinambour. Néanmoins quelques données ont été regroupées à titre indicatif sur la luzerne.

I - LA BETTERAVEA / TECHNIQUE CULTURALE

La betterave nécessite une terre assez riche. On réalise de plus un apport d'engrais azoté à raison de 110 à 170 kg/ha. Le semis se fait en mars avril. L'opération de binage-démariage et de repassage s'exécute à la main (pour avoir un ordre de grandeur, pour la campagne 81/82, le coût de cette opération est de 1 518 F/ha pour un semis ordinaire polygerme et de 910 F/ha pour un semis de précision mono-germe). La population à l'hectare est alors d'environ 110 000 plants. Parfois un deuxième repassage ou une rectification du semis peut être nécessaire (opérations manuelles). La récolte s'effectue d'octobre à décembre, le poids de terre récupéré avec les betteraves varie de 35 à 60 t pour 100 t de betteraves. La betterave est sensible à de nombreux parasites et maladies (une vingtaine) pour lesquels les traitements sont assez bien connus. Les problèmes agronomiques sur lesquels portent les recherches et expérimentations sont principalement : le choix des graines, la mise en terre, les maladies et parasites, le problème des montées en graines, la fatigue des sols.

B / RENDEMENTS ET SURFACES

Le rendement est d'environ 40 à 60 t/ha de betteraves à 20-22 % de matière sèche (MS) et 7 à 8 t de M.S. de

vert (à 15 % M.S.).

Un hectare produit 7 à 9 t de sucre extractible (soit de l'ordre de 45 hl d'éthanol).

Les superficies emblavées en betterave sont de 600 000 ha qui se décomposent en deux catégories :

- les régions traditionnelles de la betterave, essentiellement la Picardie, le Nord et la Champagne qui produisent près de 70 % de la production nationale.

- les régions plus récemment orientées vers la betterave : Région Parisienne, Centre, Haute Normandie et pour des quantités beaucoup plus faibles l'Alsace, l'Auvergne, la Basse Normandie, la Bourgogne.

La situation est très différente pour ces deux groupes puisque le quota A de betteraves au prix garanti est beaucoup plus important dans le premier ; les agriculteurs cultivant la betterave depuis peu ont donc un risque financier bien plus important (proportion importante de quota B et hors quota).

Pour mémoire, les agriculteurs produisant de la betterave y consacrent en moyenne 15 à 30 % (au maximum) de la surface de leur exploitation.

Pour la campagne 81/82 les estimations montrent que la surface en betterave a augmenté de 11,7 %.

#### C / LES PRIX

Les prix de la betterave, quota A et B, sont fixés à BRUXELLES à partir des données technico-économiques globales (évolution moyenne des coûts de production et des prix agricoles en Europe), de données politiques (conjoncture) et de données sociales (structure du marché, revenu des agricul-

teurs), les négociations aboutissent à une grille de prix pour les différents produits agricoles. Le tableau suivant donne l'évolution du prix de la betterave quota A et de l'alcool de betterave rectifié extraneutre (prix négocié entre les pouvoirs publics et les différents intervenants).

|                                      | 71/72 | 72/73 | 73/74 | 74/75 | 75/76 | 76/77 | 77/78 | 78/79 | 79/80 | 80/81 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Betterave<br>Quota A<br>Prix F/t 16% | 94    | 98    | 99    | 105   | 110   | 130   | 153   | 165   | 181   | ~ 200 |
| Alcool de<br>betterave<br>F/hl       | 152   | 161   | 171   | 220   | 233   | 248   | 266   | 286   | 325   |       |

Le prix de la mélasse est fonction du marché national et international et assez spéculatif (~ 700 F/t en 1980 - la France est importatrice de mélasse). Le prix de l'alcool de mélasse est d'environ 65 % de celui de l'alcool de betterave.

Pour la campagne 79/80, la décomposition du prix de l'hectolitre d'alcool de betterave s'effectue comme suit :

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Prix de la betterave | 181.22 F/t |
| B.A.P.S.A. + Taxe    | 8.39 F/t   |
|                      | <hr/>      |
| Prix matière         | 172,33 F/t |

Le rendement théorique est de 90,37 litres/t ce qui amène la part de la matière première dans l'hectolitre d'alcool à 191.25 F/hl. Le coût de production de l'alcool et la marge représentent donc 133,75 F/hl.

#### D / DANS L'HYPOTHESE D'UNE PRODUCTION ENERGETIQUE

Il faut s'orienter vers la sélection d'espèces mieux adaptées à la fabrication d'alcool-carburant (meilleur rendement à l'ha en t de M.S., beaucoup moins d'exigence de

qualité sucrière et de pureté). On ne part pas de rien en ce domaine puisqu'il existait en 45-50 des variétés de betterave à alcool. Des essais en Hollande et U.S.A. font état de rendement de 110 t/ha à 16 ou 17 % de M.S., l'expérimentation de ces variétés en France est en cours, les betteraviers vont jusqu'à avancer une production possible à l'ha de 70 hl d'éthanol.

On cherche aussi à valoriser les pulpes et les vinasses de betteraves soit comme combustible avec préséchage jusqu'à 50 % d'humidité soit par fermentation méthanique, le résidu servant d'aliment pour bétail.

L'intérêt est de réduire la consommation de fuel des sucreries et distilleries, avec comme but à atteindre la réduction de 25 à 14 Kg fuel par hl d'alcool. Dans le même ordre d'idée on envisage d'utiliser de la paille comme combustible, une étude ayant montré que deux ou trois hectares de paille permettraient de traiter un hectare de betteraves.

Enfin, les compagnies sucrières ont des projets de sucrerie distillerie où l'on extraierait seulement 90 à 110 kg de sucre par tonne de betterave (le premier jus, celui qui est donc le moins coûteux en énergie), le reste étant transformé en alcool. Nous manquons de données chiffrées sur ces projets, les intervenants étant très discrets.

## II - LE TOPINAMBOUR

Le topinambour s'accomode de terres même peu fertiles ou peu profondes mais préfère les terres légères et bien drainées (évite la pourriture). Il exige peu de fumure azotée, davantage de potasse et phosphate. La plantation se réalise en mars à raison d'1,5 à 2 t de plants à l'ha (soit 30 000 pieds). Les soins d'entretien consistent en un binage et buttage : En général aucun traitement herbicide n'est nécessaire. La récolte des fanes se fait à la mi-novembre,

actuellement à la main. Celle des tubercules s'effectue de décembre à début mars dans des conditions climatiques assez difficiles. Le passage d'engins en hiver dans les champs impose lui aussi une terre légère, d'autant plus que dans de tels sols, les tubercules ont une forme moins torturée donc moins de terre adhérente. Le topinambour n'est sensible qu'à une pourriture (sclérotinia) plus ou moins selon la variété. Aujourd'hui la récolte des tubercules se fait souvent avec une arracheuse puis un ramassage manuel; il existe des arracheuses chargeuses avec ou sans table de triage: cette opération peut donc être mécanisée.

Le ramassage des fanes peut l'être également soit par une machine de type lieuse soit par une ensileuse selon le type de stockage et d'utilisation qu'on envisage pour les fanes.

L'assolement doit porter sur 3 ans et pose un problème puisque la culture du topinambour salit les cultures suivantes. Les prairies artificielles luzerne, ray grass, fait un bon assolement en éliminant les repousses par les coupes successives. Une solution de ce type s'appliquerait parfaitement en zone d'élevage.

#### B / RENDEMENTS - SURFACES

Le topinambour est passé de 160 000 ha en 1955 à 6 400 en 1981 dont 43 % dans le Limousin. Il est cultivé comme plante fourragère, sur de petites surfaces (1 à 2 ha par exploitation), les fanes sont en partie utilisées comme litière pour les animaux et en partie brûlées. Le rendement actuel moyen mesuré par la coopérative agricole du Limousin, COPAR est de 44 t/ha de tubercules à 19 % de M.S. et une teneur en glucides hydrolysables de 17 %, et 15 t de fanes à 50 % M.S. En matière de technique culturale comme de sélection de semence rien n'a été fait depuis 25 ans. La station d'Amélioration des Plantes de l'INRA (Rennes) entretient une collection de clones de topinambour (72 variétés)

dont on connaît peu de choses (rendement ?). Des essais sont menés sur ce sujet\*. Il faut savoir qu'il n'y a pas aujourd'hui de commercialisation de semence de topinambour, chaque agriculteur étant autosuffisant ; un hectare de topinambour fournit la semence pour 25 ha l'année suivante, ce qui, compte tenu de la sélection d'une variété à haut rendement, imposerait un certain délai à l'extension massive de cette culture. Il est raisonnable d'attendre un rendement moyen de 50 t/ha bien que des chiffres beaucoup plus importants soient avancés (jusqu'à 90 t/ha).

### C / LES PRIX - LA VALORISATION DES FANES ET PULPES

Une petite quantité de topinambour est aujourd'hui commercialisée pour fabriquer de la farine qui entre dans la composition de certains aliments (pour bébé en particulier). Le prix payé à l'agriculteur est au début 81 de 200 F/t.

Pour une utilisation énergétique, le topinambour a une propriété intéressante : ses fanes qui peuvent atteindre 3 m de hauteur, à 50 % de M.S. sont combustibles telles quelles et fournissent 1500 thermies à la tonne. Elles pourraient assurer l'autonomie énergétique de la distillerie. D'autre part les pulpes du topinambour ont une valeur fourragère excellente. Le tableau 1 résume les possibilités de valorisation pour 1 ha de topinambour.

### III - LA LUZERNE

Une luzernière dure 3 ou 4 ans et ne revient sur le même sol qu'après 5 années. La luzerne est très profondément enracinée et si les pieds sont fragiles la première année elle est extrêmement rustique et résistante à la sécheresse par la suite. Les bactéries *Rhizobium meliloti* qui vivent en symbiose avec la luzerne en formant des nodosités dans le tissu radicaire, fixent l'azote atmosphérique.

-----  
\* La Belgique et les U.S.A. s'intéressent au topinambour pour la production de fructose.

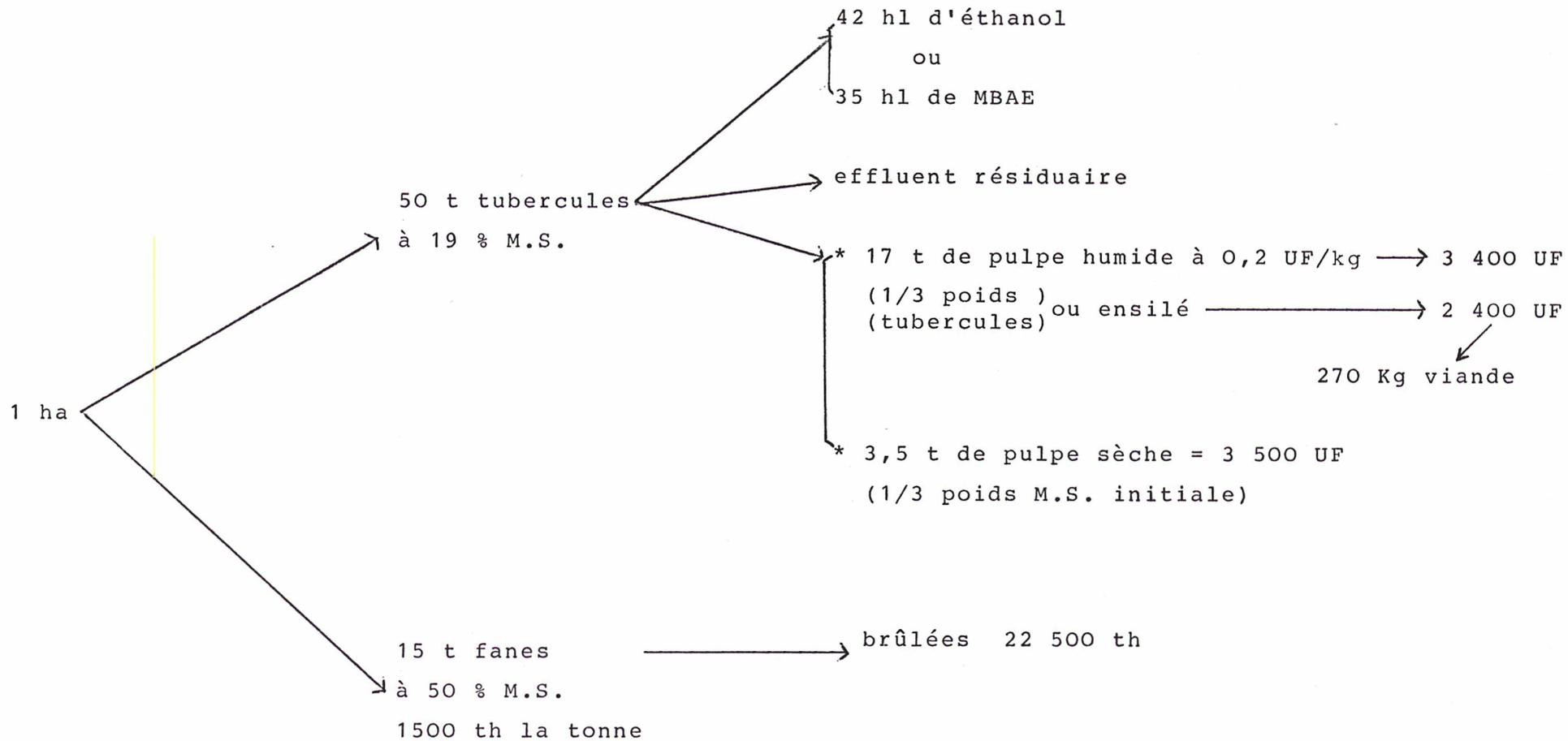


TABLEAU 1 : VALORISATION D'1 HECTARE DE TOPINAMBOUR

Nota : 1 unité fourragère permet de produire 1/9kg viande  
(≈ 1 kg céréales à 0,8 c/kg.)

Le semis qui serait adapté à un assolement topinambour a lieu en sol nu au printemps. La production est de 4 à 7 t M.S. /ha la première année - un peu moins en terre légère (1° coupe en juillet), les années suivantes une coupe à la floraison puis toutes les cinq semaines (4 coupes par an) ce qui fournit environ 10 à 17 t M.S./ha. La luzerne est ensuite utilisée verte, ensilée, fanée ou deshydratée.

Le tableau suivant résume quelques caractéristiques :

|   | % M.S. | %<br>cellulose | UF/kg |
|---|--------|----------------|-------|
| Luzerne en vert                         | 24     | 7,2            | 0,15  |
| Luzerne ensilée                         | 26     | 6,4            | 0,19  |
| Luzerne deshydratée<br>à 20 % cellulose | 89     | 20,5           |       |

La luzerne ainsi que d'autres graminées fourragères a de bons rendements en matière sèche, répartis en plusieurs coupes dans l'année ce qui en ferait une plante intéressante pour un approvisionnement complémentaire et régulier d'une unité de carburant vert. Mais ceci suppose une maîtrise industrielle de l'hydrolyse de la cellulose (acide ou enzymatique) et reporte donc une telle utilisation à l'horizon 90.

ANNEXE 10LES RESSOURCES FORESTIERES TROPICALES

Les ressources forestières tropicales sont gigantesques tant par leurs étendues (1,2 milliards d'hectares de forêt dense, 1 milliard d'hectares de forêts de savane) que par le volume de biomasse qu'elles représentent (environ l'équivalent de 80 milliards de tep). Il est donc légitime de se demander comment peut être exploité ce gisement perpétuellement renouvelé. (Nous nous inspirerons ici d'une étude très intéressante du CTFT sur les forêts tropicales).

I - CARACTERISTIQUES SYLVICOLES DES FORETS TROPICALES

On distingue deux grandes catégories de couvert forestier :

- la forêt dense,
- la forêt de savane.

A / LA FORET DENSE

Elle est localisée dans la zone équatoriale humide (entre 1,2 et 2 m de précipitations annuelles). Elle se caractérise par un couvert continu assez élevé (jusqu'à 50 m de haut). Le volume sur pied varie de 200 à 500 m<sup>3</sup> / ha (correspondant à 45 - 100 tep/ha). On la rencontre par exemple au Brésil, au Congo, au Cameroun, au Nigeria.

Dans les conditions actuelles d'exploitation, on prélève environ 10 % de la ressource pour en faire du bois d'oeuvre et les rémanents d'exploitation sont assez difficilement récupérables. On peut donc envisager des coupes à blanc pour récupérer toute la biomasse et

une régénération spontanée sur 50 ans : on tièrait alors 4 à 10 m<sup>3</sup>/ha/an soit 1 à 2 tep/ha/an, ce qui est faible ie comparable ou inférieur à beaucoup de cultures des pays tempérés (A titre d'exemple, 1 ha de topinambour produit environ 15 t de matière sèche par hectare et par an (ie environ 6 tep)). De plus l'écologie de la forêt équatoriale est mal connue et la régénération du couvert végétal après coupe à blanc n'est pas garantie, certains sols étant relativement fragiles (par exemple dans certaines zones de l'Amazonie).

Une autre solution serait de replanter après une coupe rase. Les conditions d'exploitation sont mieux connues des essais ayant été entrepris dans différents pays (Brésil, Congo, République Centrafricaine). Par exemple des plantations d'eucalyptus, dans de bonnes conditions pédologiques et climatiques, peuvent fournir 50 m<sup>3</sup> de bois par ha et par an (ie l'équivalent de 10 tep/ha/an) ; de plus en 7 ans on obtient des troncs d'un diamètre de 25 à 30 cm ce qui constitue une excellente matière première pour la papeterie.

## B / LA FORET DE SAVANE

Elle est caractérisée par un couvert discontinu rarement supérieur à 15 ou 20 m. Elle correspond à des conditions hygrométriques plus faibles (0,3 à 1,2 m de précipitations par an).

Elle peut être soit d'origine aliphatique ie déterminée par le climat et la nature du sol (par exemple le Sahel), soit d'origine anthropique ie à la place de la forêt dense détruite par l'homme (par exemple le long de certaines côtes du golfe de Guinée).

Le volume sur pied varie entre pratiquement 0 et 100 m<sup>3</sup>/ha (ie 0 à 20 tep/ha/an).

La régénération naturelle de la forêt après coupe

blanc est assez facile si l'on évite la destruction par le feu aujourd'hui fréquente (accidentelle ou liée aux pratiques culturelles). Les essais entrepris permettent d'avancer les chiffres suivants :

| CLIMAT    | PRECIPITATIONS<br>en m/an | PRODUCTION<br>en st/ha/an | PRODUCTION<br>en tep/ha/an |
|-----------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| SAHELIEN  | < 0,3                     | 1 à 2                     | 0,15 à 0,3                 |
| SOUDANIEN | 0,3 > < 0,8               | 2 à 4                     | 0,3 à 0,6                  |
| GUINEEN   | 0,8 <                     | 4 à 7                     | 0,6 à 1                    |

Il faut cependant remarquer que dans les pays de savanes, le bois est déjà un combustible recherché et qu'il sera difficile de dégager des surplus importants.

#### C / CONCLUSIONS

Il est donc possible de tirer des volumes importants de biomasse des forêts tropicales (en particulier forêts denses). En règle générale une exploitation systématique avec plantation semble plus avantageuse qu'une exploitation sauvage.

### II - CONDITIONS SOCIO-ECONOMIQUES DE REALISATION D'UNE UNITE DE METHANOL

#### A / AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Rappelons tout d'abord que le bois, rendu usine, revient en France à 300 à 400 F/t de matière sèche, alors que dans des conditions climatiques et pédologiques favorables et avec une exploitation systématique (par exemple dans le Sud Est des U.S.A. ou au Brésil) le bois rendu usine peut valoir seulement 120 F/t de matière sèche. Lorsque l'exploitation est faite hors plantation on obtient couramment des prix de 200 F/t de matière sèche.

En conséquence, il est souhaitable de recourir à une exploitation forestière systématique pour obtenir du bois à des prix compétitifs par rapport au charbon.

Si l'on analyse les avantages pour un pays en voie de développement d'installer une unité de synthèse de méthanol, les arguments économiques ne seront pas les plus décisifs. En effet, il est vraisemblable que le pays considéré sera obligé d'importer à la fois la technologie de transformation et les matériels d'exploitation forestière et de production. La balance extérieure sera donc positive pour la seule partie correspondant à l'apport du pays (ie essentiellement la main d'oeuvre) ce qui représentera une part assez faible du chiffre d'affaire.

Par contre, on peut recenser comme aspects positifs :

- une plus grande indépendance énergétique du pays,
- création d'une industrie forestière,
- création d'un pôle d'activité économique hors des villes, et donc la possibilité d'un développement économique plus équilibré,
- apprentissage de certaines technologies.

#### B / TAILLE DE L'INSTALLATION

Rappelons (cf annexe 4) que l'investissement représente, pour une unité de 170 000 t de méthanol par an, environ la moitié du prix de revient du produit final (avec une matière première à 120 F/t). Par ailleurs l'effet d'échelle est, jusqu'à cette taille, assez sensible : par exemple une unité dix fois plus petite (17 000 t/an) conduirait à des prix de revient finaux sensiblement plus élevés ; on passerait d'environ 1100 F/t à 1600 F/t (évaluation assez sommaire). Nous avons par ailleurs remarqué au A qu'une exploitation forestière systématique conduisait à des coûts d'exploitation plus faible.

En conséquence si un pays souhaite produire du méthanol de façon économiquement compétitive, que ce soit dans le but de l'exporter ou pour éviter d'importer des produits pétroliers et améliorer sa balance commerciale, il est souhaitable que les unités construites soient de taille suffisante.

Dans ce cas, cela représente des investissements relativement importants pour un pays en voie de développement : une unité de 170 000 t/an de méthanol coûte de 600 à 700 MF non compris les infrastructures d'exploitation forestière. Cela risque de poser des problèmes de financement à un certain nombre de pays.

#### C / CONCLUSIONS

On est en droit de s'interroger sur l'intérêt pour un pays en voie de développement de se doter d'une unité de synthèse de méthanol. En effet, l'installation d'une unité industrielle importante, automatisée, peut être relativement difficile et artificielle dans des pays au tissu industriel quasi-inexistant ; elle risque de plus de ne toucher qu'un faible pourcentage de la population. On peut se demander si les mêmes investissements ne pourraient pas avoir une efficacité plus grande s'ils étaient faits sur des projets plus décentralisés et plus facilement acceptables par les habitants des pays concernés : par exemple, on pourrait songer à la carbonisation du bois dans des petites unités et l'utilisation du charbon de bois dans des gazogènes.

Il n'est pas dans notre propos d'indiquer ici comment pourrait se faire le développement économique des pays en voie de développement. Nous voulons seulement souligner que l'intérêt de l'implantation d'une unité de méthanol n'est pas évident et devra être établi avec soin dans chaque cas.

Ces quelques remarques tempèrent fortement l'enthousiasme de nos constatations initiales : les quelques

,30 milliards de tep de la forêt tropicale ne sont pas très accessibles.

S'il est vraisemblable qu'il y aura dans un avenir proche quelques réalisations dans des pays tropicaux, celles-ci auront, au niveau mondial et en ce qui concerne l'économie française, un impact assez marginal.

ANNEXE 11

SITUATION ACTUELLE DES MARCHES DE  
L'ETHANOL ET DU METHANOL - PERSPECTIVES.

---

I - MARCHE DU METHANOL

En France tout le méthanol est produit à partir de gaz naturel (pour l'étude du procédé, voir l'annexe 4 II) dans trois usines :

|                     |                           |
|---------------------|---------------------------|
| (- à VILLERS BOCAGE | 200 000 t/an              |
| (- METHANO LACQ     | 120 000 t/an chiffre (79) |
| (- COURRIER KUHLMAN | 75 000 t/an               |

Cette production couvre les besoins de la chimie qui sont assez stables. Les usages du méthanol se répartissent comme suit :

- 180 000 t pour la synthèse de formol destinée en particulier aux résines urée-formol,
- 90 000 t pour la synthèse d'autres bases chimiques (chlorure de méthyle, Diméthyl, téréphtalate, ...)
- 45 000 t pour des usages divers (solvants, alcool à brûler).

Le prix de marché fin 79 s'établissait à 1300 F/t.

II - MARCHE DE L'ETHANOLA / APERCU HISTORIQUE

Sans vouloir retracer toute l'histoire de l'industrie de la distillation, nous indiquerons quelques points de

repère :

- première moitié du 19° siècle, développement des distilleries d'alcool à partir de betterave,
- première guerre mondiale : création du service des alcools pour coordonner la production d'alcool éthylique, les ressources du Nord du pays occupé par les Allemands faisant défaut.
- A la veille de la seconde guerre mondiale, la production française d'éthanol s'élève à 4,1 M d'hectolitres dont 2,5 à partir de betterave et de mélasse.
- Après la deuxième guerre mondiale, établissement du contingent d'alcool,
- En 1954, alors que la production d'éthanol s'élève à 6 Mhl, le gouvernement, pour éviter une crise de surproduction, lance un plan de réduction progressive des capacités.
- En 1969, pour subvenir aux besoins de la chimie hors circuit agricole et étant donné le prix très intéressant du pétrole, on crée la SODES (Société D'Ethanol de Synthèse)  
La même année intervient le règlement européen du sucre.

#### B / SITUATION ACTUELLE : PRODUCTION, PRIX

Le service des Alcools a le monopole de l'achat de l'éthanol produit en France (y compris l'éthanol de synthèse).

##### 1) L'Alcool SODES

La SODES produit à Lillebonne depuis 1969, 1,2 Mhl par an repris pour 2.25 F/l début 1980. L'éthanol est produit par hydratation catalytique de l'éthylène. Ce procédé requiert beaucoup d'énergie : environ 8 thermies dans la matière première et 8 th au cours de la transformation par litre d'étha-

nol produit (PCI 5,6 th/l). Ces 16 th/l représentent au cours actuel du pétrole près de 2 F/l, ce qui signifie que le prix de revient doit avoisiner 2,50 à 3 F/l aujourd'hui. Nous verrons plus loin comment se pose à terme le problème de cette filière.

## 2) L'alcool d'origine agricole.

La production d'éthanol d'origine agricole se décompose comme suit (prix de la campagne 79/80) :

|                        |                 |                     |
|------------------------|-----------------|---------------------|
| - alcool de betterave  | du contingent   | 1,26 Mhl à 3,25 F/l |
|                        | hors contingent | 0,3 Mhl             |
| - alcool de mélasse    |                 | 0,6 Mhl à 2,20 F/l  |
| - prestations viniques |                 | 0,4 Mhl à 6,70 F/l  |
| -----                  |                 |                     |
| SOIT UN TOTAL DE       |                 | 2,5 Mhl             |

Le système des prestations viniques échappe à l'échelon national, ce sont des décisions de Bruxelles (quantité, prix).

La production d'alcool à partir de betterave et de mélasse représente 85 % de l'éthanol agricole. Elle est régie par un système particulier de contingent et quota et de fixation de prix :

### a) contingent et quota :

Le contingent d'alcool avait été réparti entre les usines après la deuxième guerre. Il assure l'achat par l'Etat d'un volume d'alcool fixe à des prix garantis révisables chaque année. Ce contingent est constant sauf aménagement lors d'une fermeture (cf vers 1954-55) ou de demande d'agrément, par exemple d'une sucrerie en sucrerie distillerie (aucune distillerie n'a été construite en France depuis 1954). L'alcool produit au delà de ce contingent (dit hors contingent) est soit acheté par l'Etat sous forme de contrat à

un an, selon le volume de ses stocks, soit destiné à l'exportation.

Il faut savoir que la production française d'éthanol à partir de betteraves et de mélasse (2,1 Mhl) correspond à environ 600 000 ha de cultures. Or 95 % de la récolte en betteraves industrielles est destiné aux sucreries et sucreries distilleries (qui produisent 1/4 de l'éthanol de betterave) et 5 % seulement va aux distilleries qui fournissent les 3/4 de l'éthanol de betterave. De même seul 1/5° de la mélasse produite est distillée, le reste étant destiné à l'alimentation animale, à d'autres usages industriels, à l'exportation. La production d'alcool est donc tout à fait marginale par rapport à l'activité principale qui est la production de sucre, et les deux marchés ont des liaisons étroites.

Or le règlement Européen du sucre repose sur des prix de quota garantis de la betterave sucrière, fixés par Bruxelles de façon essentiellement politique. Il existe un quota A qui correspond au prix maximum garanti (de l'ordre de 200 F/t pour la campagne 80/81), un quota B qui représente en volume 27,5 % du quota A correspondant à un prix garanti qui est de 70 % de celui du quota A. Enfin les quantités supplémentaires (hors quota, ou quota C) n'ont pas de prix garanti, elles sont destinées au sucre pour l'exportation, ce qui représente un risque financier important, (et marginalement à la production d'éthanol). Ces quota avaient été répartis entre les usines en 1969 selon les productions antérieures, les usines négociant les contrats avec les agriculteurs. Il en résulte que l'implantation d'une sucrerie nouvelle (ou sucrerie distillerie) ne lui donnera droit qu'à une part relative faible de quota A et elle sera donc dans une situation plus délicate, pour elle et pour les agriculteurs contractants.

C'est le cas dans les régions qui se sont récemment tournées vers la production de betteraves : Alsace,

Auvergne, Basse-Normandie et Bourgogne par rapport à Nord-Picardie et Région Parisienne qui sont des régions traditionnelles.

b) fixation des prix

La fixation des prix de l'alcool du contingent est le résultat de négociations pour chaque campagne entre les pouvoirs publics et les représentants professionnels. Un élément s'impose de l'extérieur puisque la loi prévoit que le prix de la betterave matière première pour l'éthanol est le même que celui qui a été fixé à Bruxelles, pour la même campagne, pour la betterave sucrière quota A. Les représentants professionnels présentent une évaluation des différents autres postes du prix de revient de l'alcool (documents confidentiels). Le contrôle de l'administration porte sur l'évolution des coûts de fabrication d'une part et du prix d'achat de l'éthanol d'autre part, par rapport à des indices nationaux. Le prix de l'alcool du contingent résulte de ces négociations. Alors le prix de l'alcool de mélasse est fixé entre 56 et 68 % de ce prix. En ce qui concerne l'alcool hors contingent, l'Etat passe des contrats annuels en fonction de ses stocks à un prix de 70 % celui de l'alcool du contingent. Le surplus est destiné à l'exportation directe.

C / DEBOUCHES ACTUELS DE L'ETHANOL

Ils se répartissent en usages nobles, usage industriel, exportation.

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| Alcool de bouche            | 1,15 M hl |
| Parfumerie                  | 0,36      |
| Pharmacie                   | 0,17      |
| Vinaigrerie                 | 0,08      |
| Eau de vie pour exportation | 0,40      |
|                             | <hr/>     |
| USAGES NOBLES               | 2,16 M hl |

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Solvant             | 0,45 M hl |
| Réactif pour chimie | 0,80      |
| Alcool à brûler     | 0,22      |
|                     | <hr/>     |
| * USAGE INDUSTRIEL  | 1,47 M hl |
| * EXPORTATION       | 0,3 M hl  |

Les usages nobles sont en légère régression.

Jusqu'en 77, l'Etat avait le monopole de l'exportation. Depuis 77, les distillateurs ont la possibilité de vendre directement leur surplus de production à l'étranger. Or le Marché Commun constitue un marché protégé d'environ 0,25 Mhl à un cours qui avoisine 3 F/l ce qui permet aux distillateurs français d'être compétitifs. Par contre le marché mondial (8 Mhl) avec deux gros producteurs U.S.A. et Brésil est plus difficile (cours début 80, 1,80 F/l).

#### D / L'AVENIR DE L'ETHANOL

Deux perspectives pourraient s'ouvrir sur ce marché :

- le remplacement de l'alcool SODES par de l'éthanol agricole,
- l'utilisation de l'éthanol en alcool carburant.

##### 1) Le problème de l'alcool SODES

Comme on l'a vu plus haut l'éthanol de synthèse est fortement touché par les hausses des produits pétroliers et perdra à brève échéance (5 ans maximum) toute compétitivité face à l'éthanol agricole. Une note d'information du Ministère de l'agriculture a eu pour but de sensibiliser les distillateurs à cette nouvelle possibilité d'1 Mhl à 2,67 F/l.

\* Du côté des distillateurs, seules des sucreries ou des sucreries distilleries se sont portées candidates. En effet, l'idée

est de pouvoir jouer sur leur quota C de betteraves qui présente toujours un risque financier pour la transformation en sucre. Le cours du sucre est élevé aujourd'hui, certains observateurs s'attendent à un effondrement, on comprend ainsi l'intérêt particulier des sucreries pour cette filière. Techniquement on gagnerait aussi en coût de production à ne conserver que la première des trois phases d'épuration des égouts de sucreries - celle qui demande le moins d'énergie, où le sucre cristallise plus facilement et plus pur - L'alcool produit serait donc issu de l'égout restant. Une grosse sucrerie s'est proposée pour 500 000 hl d'éthanol à elle seule.

\* Du côté de la SODES, dont le capital social est pour 1/4 des distillateurs et pour 3/4 de PUK et Rhône-Poulenc, on oppose différents arguments :

- l'alcool SODES est encore compétitif
- l'éthanol agricole nécessiterait peut-être des transformations supplémentaires de purification, l'industrie chimique étant adaptée à un produit standard. Les chimistes demandent à pouvoir faire des tests sur l'alcool agricole (délai 2 ans).

- les problèmes socio-économiques liés à l'arrêt d'une usine.

\* On peut donc penser que cette substitution, si elle pose encore quelques problèmes, se réalisera dans les cinq années à venir.

## 2) L'éthanol comme alcool carburant ?

Le prix de l'éthanol rend cette solution tout à fait illusoire aujourd'hui et les matières sucrées betterave, tepinambour seraient mieux valorisées dans cette optique en un mélange acétonobutylique qui apporte son pouvoir compatibilisant.

Néanmoins, c'est une voie qui est déjà largement

développée et qui aurait le mérite d'être stratégique en cas de pénurie. Il faut donc garder cette possibilité en réserve, bien qu'un plan ne puisse pas reposer aujourd'hui sur cette filière.

ANNEXE 12PROBLEMES SOULEVES PAR L'UTILISATION DE  
PRODUITS OXYGENES DANS LES CARBURANTS

- I - LES PROBLEMES DE DEMIXTION ET SES SOLUTIONS
- II - LES DIFFICULTES DE CONDUITE
- III - ALTERATION DE CERTAINS COMPOSANTS DU VEHICULE
- IV - LE RESEAU DE DISTRIBUTION ET DE PRODUCTION
- V - CONCLUSIONS

Les carburants sont actuellement constitués uniquement d'hydrocarbures saturés ou aromatiques. L'introduction de produits oxygénés (alcools, acétone, éthers...) peut-être à l'origine d'un certain nombre de problèmes :

- démixtion,
- difficulté de conduite,
- altération de certains composants du véhicule,
- précautions à prendre dans le circuit de distribution.

(les caractéristiques physiques de certains de ces produits sont données dans le tableau ci-contre)

#### I - LES PROBLEMES DE DEMIXTION ET SES SOLUTIONS

Lorsqu'on ajoute une certaine quantité d'eau à un mélange hydrocarbures-alcool, celui-ci tend à se séparer en 2 phases, la phase inférieure étant très enrichie en eau et alcool (cf tableau ci-contre).

On peut remédier en partie à ce défaut en ajoutant un tiers solvant dont l'effet est, à température constante, d'augmenter la quantité d'eau nécessaire pour provoquer la séparation des phases.

Divers tiers solvants sont envisageables :

- l'addition au méthanol d'alcools lourds (cf procédé IFP en annexe 4 II D) constitue, au moins partiellement, une solution.

- le t butanol (ou TBA ie tertio butyl alcool) est un sous-produit obligé de la production d'oxyde de propylène

CARACTERISTIQUES COMPAREES DES CARBURANTS CLASSIQUES  
ET DE DIFFERENTS PRODUITS ORGANIQUES OXYGENES

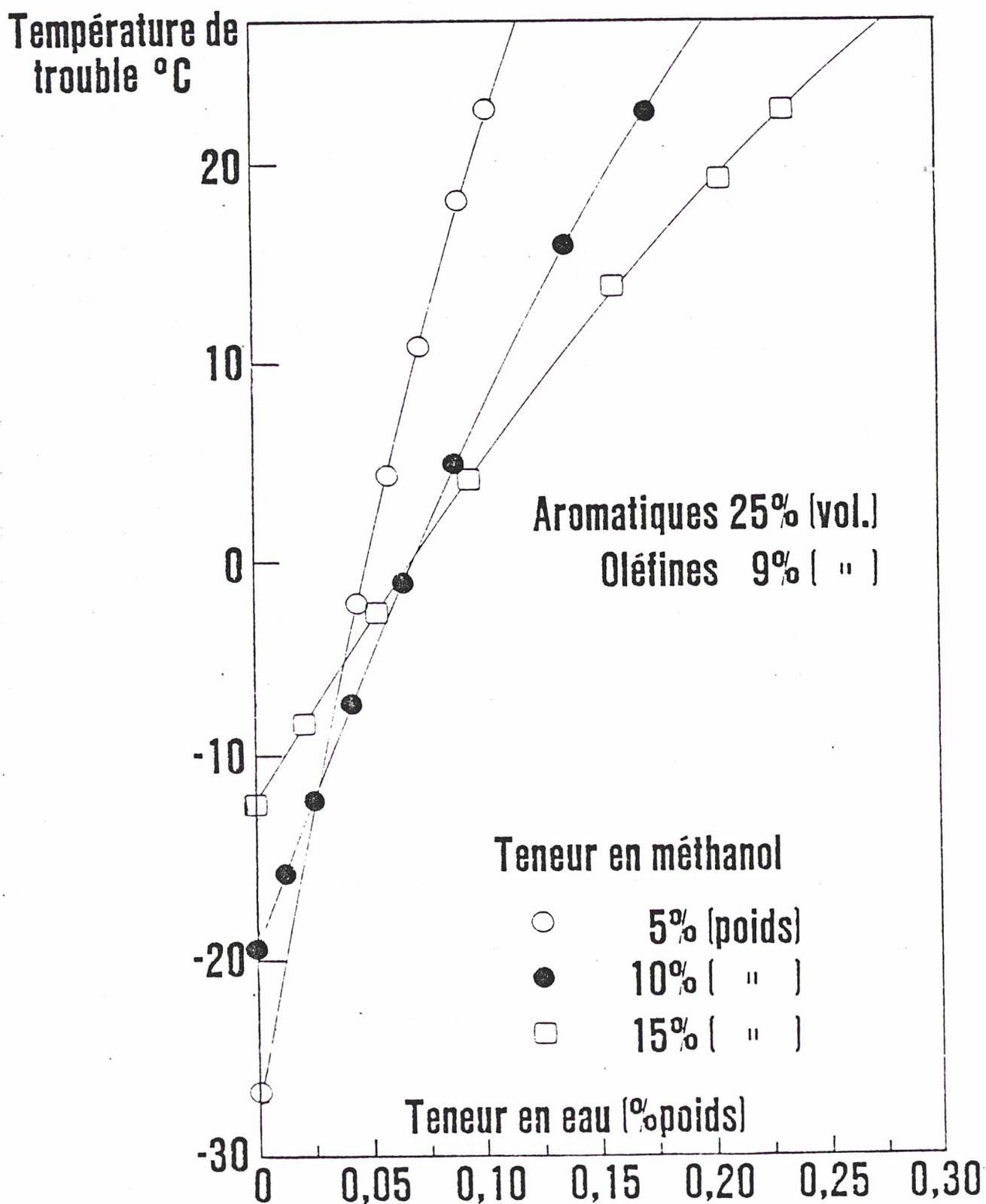
| CARACTERISTIQUE                               | Super-carburant | Gazole    | Méthanol | Ethanol | T B A  | M B A    | M T B E | T A M E |
|---|-----------------|-----------|----------|---------|--------|----------|---------|---------|
| Masse volumique à 15,5°C (kg/m <sup>3</sup> ) | 735 - 760       | 825 - 845 | 796      | 794     | 702    | 807      | 746     | 750     |
| Température d'ébullition (°C)                 | 30 - 190        | 180 - 360 | 64,7     | 78,3    | 82,8   | 63 - 129 | 55,3    | 86,3    |
| TVR à 37,8°C (kPa)                            | 40 - 80         | -         | 32       | 16      | 12     | 22       | 54      | 10      |
| Chaleur de vaporisation (kJ/kg)               | 289             | 180       | 1 100    | 854     | 510    | 573      | 337     | 310     |
| Rapport stoechiométrique*                     | 14,4            | 14,4      | 6,4      | 8,95    | 11,1   | 10,7     | 11,7    | 12,1    |
| PCI massique (kJ/kg)                          | 42 690          | 42 600    | 19 937   | 26 805  | 32 560 | 31 932   | 35 200  | 36 500  |
| PCI volumique (kJ/litre)                      | 32 020          | 35 570    | 15 870   | 21 285  | 25 790 | 25 770   | 26 260  | 27 375  |
| Indice d'octane RON**                         | 97 - 99         | -         | 106      | 106     | 113    | 100      | 117     | 114     |
| Indice d'octane MON**                         | 87 - 91         | -         | 87       | 87      | 100    | 88       | 100     | 100     |
| Indice de cétane**                            | 10              | 50        | 0 à - 3  | 5       | < 20   | < 20     | < 20    | < 20    |

\* poids d'air/poids de carburant correspondant au dosage stoechiométrique.

\*\* Les indices d'octane et de cétane des produits organiques oxygénés purs ne sont pas connus avec une grande précision.

Des écarts de plusieurs points sont souvent observés entre différentes sources de résultats. Ceci est dû, d'une part à l'imprécision des méthodes normalisées dans la zone des indices non usuels, d'autre part aux propriétés physiques particulières des alcools (rapport stoechiométrique, chaleur de vaporisation) qui rendent difficile l'application de la procédure.

# STABILITE DE MELANGES CARBURANT-METHANOL



par le procédé Oxirane :

( propylène + peroxyde de butyl → oxyde de propylène + TBA  
 ( isobutène → ↑

Il est aujourd'hui vendu 10 % plus cher que le supercarburant auquel il peut être incorporé. Les capacités de production, liées à celle de l'oxyde de propylène, sont assez limitées.

- le n butanol, produit par synthèse oxo à partir de propylène. Destiné aujourd'hui à la synthèse d'un plastifiant pour PVC son prix est aujourd'hui 3500 F/t et est quasiment proportionnel au prix du pétrole. Il existe aujourd'hui une capacité excédentaire en France de 12 000 t/an et il semble envisageable, si cela s'avérait intéressant ou nécessaire, d'accroître cette production.

- enfin le mélange acétonobutylique largement évoqué en annexe 5 semble parfaitement convenir.

## II - LES DIFFICULTES DE CONDUITE

L'introduction de composés oxygénés dans un carburant peut être à l'origine d'un certain nombre d'incidents :

- l'appauvrissement du mélange air carburant dû au plus faible PCI des alcools. Si cet appauvrissement est notable et pour certains véhicules dont le mélange air-carburant est déjà réglé pauvre, il risque de se produire des ratés de combustion et une dégradation de l'agrément de conduite.

- les alcools étant plus volatils que les hydrocarbures et en tenant compte de la formation d'azéotrope alcool-hydrocarbures, il risque de se produire une forte élévation de la tension de vapeur du carburant et un risque de formation de bouchon de vapeur au voisinage du moteur. Pour y remédier, il faut revoir la formulation de l'essence de base (moins de butane) et repenser les conduites de carburant dans le véhicule.

- la chaleur latente des alcools (et en particulier du méthanol) étant plus élevée que celle de l'essence, la vaporisation du carburant au démarrage risque d'être parfois difficile à froid.

- on n'a pas constaté à ce jour de problème spécifique d'imbrûlés dans les gaz d'échappement (sauf peut être des aldéhydes).

- la consommation au 100 km est vraisemblablement plus élevée, ceci est un point particulièrement controversé puisqu'il joue un rôle crucial pour évaluer la valeur d'usage des alcools carburants. Rappelons que l'on a avancé les

chiffres suivants :

1 l d'éthanol = 0,9 l de supercarburant (contre 0,66 l si l'on considère les PCI)

1 l de méthanol = 0,63 l de supercarburant (contre 0,5 l si l'on considère les PCI).

Pour tous ces problèmes, nous pouvons dire que les effets seront pratiquement insensibles pour de faibles taux d'alcool (environ 5 %) : c'est d'ailleurs ce qui ressort des expériences faites en R.F.A. Par contre, pour des taux d'alcool plus élevés (15-20% ou 80-100 %), il sera nécessaire de procéder à quelques modifications légères (règlage de carburateurs) ou plus importants (augmentation du taux de compression par exemple).

### III - ALTERATION DE CERTAINS COMPOSANTS DU VEHICULE

Les alcools (et tout particulièrement le méthanol) peuvent détériorer de façon plus ou moins importante, certaines pièces des véhicules aujourd'hui en circulation.

Il s'agit notamment :

- des revêtements en plomb des réservoirs d'essence,
- des pièces en caoutchouc ou nylon (tel les conduites de carburant, les flotteurs de carburateur) qui peuvent gonfler en présence de méthanol,
- de certains alliages légers et en particulier le manganèse et le zamak avec lequel sont faits de nombreux carburateurs,
- de certains additifs des huiles de moteurs qui risquent de précipiter.

De même que dans le cas précédent ces problèmes resteront assez peu critiques dans le cas de faibles concentrations de produits oxygénés, mais nécessiteront des adap-

tations pour des quantités plus importantes d'alcool. Remarquons d'ailleurs que, à part ce qui concerne le réservoir, ces modifications semblent assez minimes et une adaptation de véhicules non initialement prévus pour rouler avec du carburol semble possible.

#### IV - LE RESEAU DE DISTRIBUTION ET DE PRODUCTION

Les points critiques semblent être les suivants :

- en ce qui concerne les problèmes de corrosion, certains composants des pompes de distribution ainsi que les caves de stockage appellent les mêmes remarques que celles faites à propos des véhicules.

- la production du mélange carburol, si elle peut s'insérer dans l'appareil de production (ie dans le cas de production à grande échelle), sera peu coûteuse. Il faut par contre remarquer que l'introduction de produits oxygénés modifiera la composition des carburants ; afin d'éviter d'augmenter trop sensiblement la teneur en éléments distillables à basse température, on risque d'être amené à réduire la quantité de butane incorporé, produit auquel il faudra alors trouver une autre valorisation.

- il faudra veiller, plus que par le passé, à limiter la pénétration d'eau dans les réservoirs de stockage pour éviter des phénomènes de démixtion.

#### V - CONCLUSIONS

Il apparaît que, quelque soit le type d'alcool utilisé, il faudra se prémunir contre les problèmes de démixtion et donc utiliser un tiers solvant. Il existe d'ores et déjà de tels produits et il est envisageable d'en produire de grosses quantités (cf annexe 5)

Il convient ensuite de distinguer deux types de

situation :

- les mélanges à faible taux d'alcool. Il est vraisemblable qu'à tous les niveaux de la chaîne de production, distribution et utilisation, il y aura peu de problèmes et les équipements actuels pourront fonctionner avec ce type de carburant. Ce point est d'ailleurs en cours de vérification. Il n'y a donc pas d'obstacles techniques à l'introduction à court terme de produits oxygénés en faible proportion (2 à 5 %) dans les carburants.

- les mélanges à plus forte teneur en alcool (10 à 30 % ou 80 à 100 %). En l'état actuel des connaissances, il faudrait prévoir des véhicules spécialement adaptés (réglages différents, changement de certaines pièces) ainsi qu'un circuit de distribution spécial. Les échéances (de production du carburant d'une part et de véhicules adaptés d'autre part) sont dans ce cas plus lointaines : rappelons qu'il faut au moins 5 ans pour préparer un nouveau modèle de moteur et que le taux de renouvellement du parc automobile français est de l'ordre de 15 % par an.