PN-AAQ-479
ISN 35570

EFFICACITE ENERGETIQUE ET ECONOMIES D'ENERGIE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Compte-rendu du Séminaire

Lomé, Togo
30 Mars au 8 Avril 1983

sous le patronage commun de

LA COMMUNAUTE ECONOMIQUE DES ETATS D'AFRIQUE DE L'OUEST (CEDEAO)

et

UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (USAID)
Office of Energy, Washington, D.C.

Directeur
David J. Jhirad

DEPARTMENT OF APPLIED SCIENCE

BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY
UPTON, LONG ISLAND, NEW YORK 11973

EFFICACITE ENERGETIQUE ET ECONOMIES D'ENERGIE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Lomé, Togo
30 Mars au 8 Avril 1983

Compte-rendu du Séminaire

qui s'est tenu sous le patronage commun de

LA COMMUNAUTE ECONOMIQUE DES ETATS D'AFRIQUE DE L'OUEST (CEDEAO)

et

UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (USAID)
Office of Energy, Washington, D.C.

sur l'invitation
du

GOUVERNEMENT DU TOGO
Ministère des Travaux Publics, des Mines, et de l'Energie

organisé par

BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY, Upton, NY

et

THE INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH
State University of New York/Stony Brook, NY

DISCLAIMER

This report was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government nor any agency thereof, nor any of their employees, nor any of their contractors, subcontractors, or their employees makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency, contractor, or subcontractor thereof.

TABLE DES MATIERES

1 Introduction et Antécédents (David J. Jhirad)..... 1
1.1 Introduction et Antécédents..... 3
1.2 Résumé des Séances..... 3
1.3 Conclusions et Recommandations..... 13

2 Raisons pour l'Efficacité Energétique et les Economies d'Energie.. 23
2.1 Aperçu de la Situation Energétique dans les pays de la CEDEAO (Asif. M. Shaikh)..... 25
2.2 L'Importance de l'Efficacité Energétique dans les pays en Développement (David J. Jhirad)..... 37

3 Le Secteur Industriel..... 79
3.1 Gestion Energétique dans l'Industrie (Barry G. Tunnah)..... 81
3.2 Economies d'Energie dans l'Industrie au Maroc et au Sénégal (Claude Garrigues)..... 174

4 Le Secteur de Production d'Electricité..... 187
4.1 Programme de Maintenance Préventive dans le Secteur Production d'Electricité (Paul H. Shoun)..... 189
4.2 Tarification fondée sur les Coûts et autres Options d'Economies d'Energie pour les Producteurs d'Electricité (Richard W. Leigh)..... 197
4.3 Efficacité Energétique dans les Secteurs de la Production d'Electricité et de l'Industrie (H.N. Sharan)..... 214

5 Le Secteur des Bâtiments..... 235
5.1 Questions Technologiques et Economiques de l'Utilisation d'Energie dans les Bâtiments (Richard B. Curtis et Jerome B. Weingart)..... 237
5.2 Potentiel des Systèmes Electriques dans les Bâtiments pour la Réduction et le Nivellement de la Consommation d'Electricité (Richard W. Leigh)..... 257

6 Le Secteur des Transports..... 275
6.1 Analyse de l'Utilisation d'Energie dans les Transports - Principes et Pratique (T.O. Carroll)..... 277

7 Références..... 299

Annexe A: Liste des Participants..... 305

Annexe B: Programme..... 311

Annexe C: Liste du Matériel Supplémentaire distribué au Séminaire..... 319

Annexe D: Matériel de l'Office Togolais des Phosphates..... 323

REMERCIEMENTS

Ce séminaire était patronné par l'U.S. Agency for International Development, Office of Energy, et par la Communauté Economique des Etats d'Afrique de l'Ouest, Département des Transports, Télécommunications, et de l'Energie (CEDEAO).

Plusieurs personnes ont contribué au succès et à l'expérience positive qui ont marqué ce séminaire bilingue de deux semaines. Nous tenons à remercier Pamela L. Baldwin et Patricia Koshel de l'Office of Energy, US AID, pour leur appui, encouragements, et conseils, ainsi que pour leur rôle important de sensibilisation au besoin d'efficacité énergétique, de gestion de la demande, et de programmes de formation dans le secteur énergétique pour l'économie et le développement. Nous exprimons également notre reconnaissance à David Rhoad, Directeur Adjoint de l'Office for Energy and Natural Resources, US AID et Ron Rogers de l'US AID, Abidjan, pour avoir participé à ce séminaire et fourni des renseignements de valeur sur les activités d'assistance de l'US AID en affaires énergétiques.

Nous exprimons également notre reconnaissance au Dr. Aboubakar Diaby-Ouattara, Secrétaire Exécutif de la CEDEAO, M. Robert Tubman, Directeur Administratif des Fonds CEDEAO, et M. D.T. Sakho, Secrétaire Exécutif Adjoint aux Affaires Economiques, pour leur patronage et profond intérêt porté aux objectifs du séminaire. Nous remercions vivement M. Daniel Faux, Directeur des Transports, Télécommunications, et de l'Energie auprès de la CEDEAO, les membres du personnel du Secrétariat CEDEAO et des Fonds CEDEAO, Zaklu Gunubu, Jerry Eghagha et Dunstanette Homawoo pour leurs efforts soutenus, leur efficacité et leur dévouement sans lesquels le séminaire n'aurait pas pu avoir lieu.

Nous tenons également à remercier le Gouvernement du Togo pour avoir bien voulu servir d'hôte à ce séminaire. Nous sommes heureux d'avoir pu compter M. Yao Amefia, Directeur, et Monsieur I.K. Fare, ingénieur rattaché à la Division des Mines, de l'Energie et des Ressources Hydrauliques parmi les participants.

Nous apprécions la contribution de la Canadian International Development Agency et des agences donnatrices Ouest allemandes (BMZ et GTZ) représentées par Dr. David B. Brooks de Marbek Resource Associates et Mr. Philippe Simonis. Nous remercions Dr. Michael Dow de la National Academy of Sciences pour son rapport sur le séminaire. Nous exprimons notre reconnaissance aux conférenciers, participants, orateurs, observateurs, et interprètes dont la collaboration fut marquée d'enthousiasme, de patience, de compréhension, et de bonne humeur, créant ainsi une ambiance d'études mémorable à tous. Le séminaire a conclu avec un degré remarquable de consensus parmi les participants sur les conclusions et recommandations les plus importantes. Nous apprecions tres vivement aussi le travail

Nancy O'Meara de Stony Brook, Administratrice du séminaire, Pat Miller et Liz Seubert de Brookhaven méritent notre très haute appréciation pour avoir surmonté les obstacles d'ordre administratif et logistique, de même que pour leur travail dévoué qui a rendu possible la parution de ce compte-rendu. Nous apprecions tres vivement aussi le travail excellent de Madame Helene Kasha d'Expertise Translations, qui a traduit la plupart du compte-rendu.

ABREVIATIONS, UNITES ET FACTEURS DE CONVERSION

bep	baril équivalent de pétrole
b/jep	baril/jour équivalent de pétrole
tec	tonne équivalent de charbon
tep	tonne équivalent de pétrole
tpa	tonne par an
Btu	British thermal unit, 1 Btu = 1054.2 joules
kW	Kilowatt (1000 watts)
MW	Megawatt (1000 kW)
GW	Gigawatt (1000 MW)
TW	Terawatt (1000 GW)
kWh	Kilowatt-heure
GWh	Gigawatt-heure
MMCFD	million de pieds cubes par jour
tcf	10^{12} pieds cubes

* 1 baril équivalent de pétrole (bep)
  - = 5.8×10^9 joules (J)
  - = 1610 kilowatt-heures (kWh)
  - = 1.4×10^6 kilocalories (kcal)
  - = 2160 cheval-heures (hp-h)
  - = 5.5×10^6 British thermal units (Btu)
* 1 tonne équivalent de pétrole (tep)
  - = 7.49 barils équivalent de pétrole
  - = 40.47×10^3 pieds cubes de gaz naturel
* 1 tonne de charbon standard = 0.7 tep
* 1 tonne de bois de chauffage = 0.20 à 0.35 tep
* 1 tonne de charbon de bois = 0.63 à 0.69 tep
* 1 tonne de bagasse (30% d'humidité) = 35 tep
* 1 m^3 = 35.31 pieds cubes
  - = 264 gallons U.S.

SECTION 1

INTRODUCTION ET ANTECEDENTS

1.1 INTRODUCTION ET ANTECEDENTS

David J. Jhirad

La région d'Afrique de l'Ouest qui comprend les 16 membres de la Communauté Economique des Etats d'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) se voit confrontée par de graves problèmes d'ordre énergétique et économique. Tout comme les autres pays en développement, les nations de la CEDEAO qui sont importatrices de pétrole, ont été sérieusement touchées par la hausse des prix du pétrole des années 1970, alors qu'en même temps, ces nations doivent faire face aux problèmes de la diminution des ressources et de l'augmentation du prix des combustibles traditionnels, tels que le bois de chauffage et le charbon de bois.

Après avoir réalisé qu'une collaboration à la planification de stratégies énergétiques à l'échelle régionale peut jouer le rôle important de complément aux initiatives prises à l'échelle nationale, la CEDEAO a convoqué en novembre 1981 à Freetown, Sierra Leone, son premier Symposium sur l'énergie avec l'appui financier de l'U.S. Agency for International Development. Ce Symposium était dirigé en commun par la CEDEAO et le Board on Science and Technology for International Development (BOSTID) de l'United States National Research Council (NRC).

Les quatorze recommandations de projets ont par la suite été adoptées par le Conseil des Ministres de la CEDEAO à Cotonou, Bénin, en Mai 1982. A la suite de cette réunion, la planification de la première recommandation a été entreprise, à savoir la convocation d'un séminaire avec séances d'études sur l'efficacité énergétique et les économies d'énergie dans les sous-secteurs de la production d'énergie, des transports, de l'industrie, etc. Ce séminaire qui a eu lieu à Lomé, Togo, du 30 mars au 8 avril 1983 est une co-réalisation de la CEDEAO, du Brookhaven National Laboratory, et de l'Institute for Energy Research de SUNY/Stony Brook avec l'appui financier de l'Office of Energy of the U.S. Agency for International Development. Le Ministère des Travaux Publics, des Mines, et de l'Energie du Togo a servi d'hôte au séminaire.

1.2 RESUME DES SEANCES

1.2.1 Objectifs et Gamme des Questions Discutées

Les objectifs essentiels du séminaire étaient de permettre aux responsables de l'échelon supérieur qui prennent des décisions et au personnel auquel incombe l'aspect technique, de se familiariser avec:

— Les concepts techniques et économiques fondamentaux qui régissent les branches efficacité énergétique, économies d'énergie, et gestion de la demande.

---

* Bénin, Cap-Vert, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Côte d'Ivoire, Liberia, Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria, Sénégal, Sierra Leone, Togo, et Haute-Volta.

Previous Page Blank

-- Les coûts et bénéfices résultant de l'adoption de mesures d'efficacité énergétique, vus sous l'angle de l'entreprise privée d'une part, et celle nationale, de l'autre.

-- Le rôle que joue la branche efficacité énergétique en tant que composante d'une stratégie énergétique pour la région de la CEDEAO.

-- Les mécanismes auxquels les organismes et politiques pourront faire appel pour mettre en application les projets et programmes d'efficacité énergétique.

-- Les recommandations de mesures capables d'initier et de maintenir des programmes d'action.

Dans le but d'atteindre ces objectifs, des discussions portant sur des études de cas de programmes d'efficacité énergétique dans les pays en développement, des enquêtes et des audits ont été conduits dans quelques pays de la CEDEAO, de même que des méthodes d'analyse qui se sont avérées utiles à l'évaluation des coûts et bénéfices résultant de projets d'efficacité énergétique pour l'industrie, la production d'électricité, les bâtiments commerciaux et administratifs, et les transports. Ces conférences et discussions ont été complémentées par une visite à l'usine des phosphates du Togo où ont eu lieu des audits énergétiques auxquels le groupe visiteur a activement participé.

Tout au long du séminaire, l'accent a été mis sur la notion que "efficacité énergétique" ne signifie pas austérité ou coupure de l'appovisionnement. Au contraire, on a souligné que l'efficacité énergétique devrait être considérée comme un moyen permettant de réduire la quantité d'énergie utilisée par unité de production dans l'économie, devenant ainsi la composante d'une stratégie dont le but est de remplacer des sources d'énergie coûteuses par des sources plus avantageuses.

Il est vrai que l'expérience acquise dans les pays industrialisés en matière d'efficacité énergétique a été considérable; mais dans les pays en développement, des études de cas ont également révélé que des économies d'énergie et de côuts peuvent être réalisées en peu de temps en prenant des mesures techniques d'efficacité énergétique bien éprouvées.

Selon la demande de la CEDEAO, le séminaire s'est limité à l'étude de quatre secteurs (industriel, électrogène, bâtiments commerciaux et administratifs, et transports) qui utilisent la plus grande part des combustibles commerciaux. Il n'était pas envisagé que le séminaire s'adresse aux questions de bois de chauffe et de charbon de bois qui sont le combustible principal des ménages dans les pays en développement, et qui constituent 60 à 90 pourcent de l'énergie totale utilisée dans les régions d'Afrique de l'Ouest. Le rapport entre énergie et agriculture est également une question importante, mais n'a pas été traité dans le cadre de ce séminaire. Néanmoins, pour répondre à la demande de plusieurs participants, le directeur du séminaire a convoqué une séance hors-programme se portant sur l'utilisation plus efficace du bois comme source d'énergie.

Etant donné que le séminaire s'était proposé comme but celui de répondre au besoin d'information et de programmes de formation pour la région,

les présentations des conférenciers sont reproduites dans ce compte-rendu. Les pages présentent en résumé les questions principales discutées au cours des séances, et énoncent les conclusions et recommandations offertes par le séminaire.

1.2.2 Le Secteur Industriel

Il y a un manque d'informations fiables sur la consommation de pétrole et d'électricité dans les divers secteurs, mais d'après celles qui sont disponibles, le secteur des transports est le plus gros consommateur de fuel de pétrole en Afrique de l'Ouest; le secteur industriel tient la deuxième ou troisième place, exception faite du Nigéria où ce secteur utilise le plus de pétrole.

Les grandes industries utilisant l'énergie à grande intensité, telles que les sidérurgies et aciéries, les raffineries de pétrole, les cimenteries, les industries chimiques et d'engrais, de pâte à papier et papier, dominent en ce qui concerne la quantité de pétrole consommée; le coût de l'énergie ainsi utilisée représente 10 à 50 pourcent du coût total de la production. Il a été démontré que la quantité d'énergie utilisée par unité de production dans ces industries pourrait être réduite si on adoptait un nombre de mesures allant des types nécessitant peu ou pas d'investissements de capitaux (comme l'amélioration de "économie ménagère" et de la gestion, le recours au monitoring et aux systèmes de contrôle), aux types nécessitant des investissements de capitaux moyens ou importants (pour l'achat d'équipement nouveau ou pour l'apport de modifications aux procédés industriels). Des économies d'énergie potentielles de 10 à 30 pourcent sont réalisables dans la plupart des industries, le temps de récupération de l'investissement étant de moins d'un an pour les investissements dans "l'économie ménagère", et de moins de cinq ans pour les grands investissements dans de l'équipement coûteux mais indispensable pour réaliser de grandes économies.

A cet effet, l'importance des audits énergétiques a été soulignée. Les types d'audits comprennent: (1) au départ, l'audit de base qui durera 2 à 3 jours selon les données disponibles et qui indiquera si le comptage, le mesurage, et l'enregistrement étaient jusqu'alors inadéquats; (2) un audit complet s'étendant sur plusieurs mois à la fin desquels des bilans indiquant les quantités d'énergie et de matériel utilisés seront obtenus; dans ce dernier type d'audit, on inclue également l'énergie utilisée et la production obtenue par chaque section (ou fonction); cet audit fera l'évaluation détaillée des coûts et bénéfices résultant des diverses options d'améliorations de l'efficacité énergétique. Des exemples d'audits conduits au Togo, Sénégal, Tunisie, et Maroc ont été présentés et les délégués au séminaire ont eu l'occasion de se familiariser avec les appareils de diagnostic en prenant part à l'audit d'un jour lors de la visite à l'usine des phosphates du Togo. Les délégués ont également eu l'occasion de voir un film sur l'amélioration de l'efficacité énergétique par moyen d'une bonne économie ménagère et d'investissements de capitaux modestes ou importants.

Etant donné que plusieurs délégués ont relevé que les pays de la CEDEAO devraient pouvoir disposer d'une méthodologie qui permettrait aux ingénieurs de la CEDEAO d'entreprendre des audits et des enquêtes sans avoir à consulter des experts venant de l'extérieur, il a été décidé qu'à la suite du séminaire, les programmes de formation pourront jouer un rôle important.

L'aspect économiquement intéressant des systèmes de co-génération utilisant les combustibles de pétrole a fait ressortir le besoin d'une planification bien coordonnée dans les secteurs industriels et de production d'électricité. Une proposition innovative, celle de récupérer la chaleur rejetée des grands générateurs diesel et de l'utiliser pour les installations de réfrigération centralisées a beaucoup retenu l'attention des participants. Les systèmes de récupération de chaleur, les pompes à chaleur, l'instrumentation et les systèmes régulateurs, ainsi que les modifications de procédés étaient également discutés. De tels systèmes s'adressent aux facteurs relevant de la physique et de l'ingénierie qui causent l'inefficacité énergétique, parmi lesquels il faut citer:

-- la combustion de fuel de haute qualité pour produire des températures basses,

-- les déchets de chaleur à haute température,

-- l'utilisation de procédés industriels inefficaces.

Un appui financier est généralement nécessaire pour l'amélioration de l'efficacité énergétique, mais le coût élevé de ces mesures est rapidement récupérable.

Le problème de la mise en application des mesures d'efficacité énergétique au niveau des nombreuses industries de petite ou moyenne taille a également été examiné. Parmi les mesures que les gouvernements pourront prendre, ont été cité: politique de fixation des prix, règlementation, programmes d'assistance technique et de formation, allègements fiscaux, et affectation de capitaux d'investissements. On a également cité l'importance des banques de développement régional qui pourront prendre une part active à la mise en application des programmes d'efficacité énergétique dans l'industrie.

1.2.3 Secteur de la production d'électricité

Parmi les mesures capables de réduire le coût de la génération d'électricité, il faut citer les suivantes:

-- L'obtention d'une production maximale des groupes electrogènes en ayant recours à la maintenance préventive.

-- Réduction au minimum du temps mort des groupes électrogènes en assurant une meilleure disponibilité des pièces de rechange; une banque de pièces de rechange à l'échelle régionale pourrait être établie.

-- Gestion des charges afin de réduire la demande des gros consommateurs d'électricité aux heures de pointe.

-- Co-génération d'électricité et de chaleur pour procédés, ou utilisation des pertes de chaleur pour la réfrigération.

-- Réduction de la consommation non-enregistrée par les compteurs et réduction des pertes dues à des raisons d'ordre technique.

-- Interconnexion des réseaux de tous les pays de la CEDEAO, d'après l'exemple à succès du Ghana, Togo, Bénin, et Nigeria.

Un historique bref de la Tennessee Valley Authority a été présenté pour illustrer l'aspect économiquement avantageux de la maintenance préventive qui, il est vrai, nécessite du personnel de maintenance très dédié à la tâche, engagé, et doté de patience et persévérance. On a relevé que l'attitude du personnel directeur est d'importance critique, car c'est la direction qui doit sauvegarder l'intégrité du budget annuel destiné à la maintenance, sans être tenté d'en emprunter pour d'autres usages en se disant que "la maintenance peut attendre cette-fois ci", puis en reportant la tâche une fois de plus, etc.

Au cours de la discussion, quelques délégués ont exprimé des doutes sur l'applicabilité de l'expérience de la TVA à leurs pays, étant donné que les systèmes utilisés par la TVA sont d'une taille et d'une fiabilité vastement supérieures à ceux utilisés dans les leurs. Une réponse à cette question a été donnée comme suit: la TVA avait débuté il y a cinquante ans dans une région dont plusieurs aspects ressemblaient alors à ceux des pays en développement d'aujourd'hui. Des discussions plus concrêtes étaient axées sur la nécessité d'obtenir une meilleure gestion du personnel (par exemple, assurer que la responsabilité d'un employé soit compatible avec sa formation et son expérience); il était également question des problèmes résultant du fait qu'il y a souvent un chevauchement entre budgets des branches diverses du gouverneent. Les problèmes graves qui n'ont pas encore été résolus sont ceux occasionnés par la pléthore de systèmes producteurs d'électricité variés, acquis à la suite de nombreux prêts provenant de pays très divers, par la pénurie de fonds pour la maintenance, et par le manque de pièces de rechange.

D'après les délégués, le gouvernement pourrait jouer un rôle important qui consisterait à organiser des programmes de formation de personnel, à démontrer sa volonté de soutenir les programmes de maintenance, à prévoir quel sera le besoin en effectifs, bien avant que l'installation soit complétée, et à mettre sur pied une banque de pièces de rechange.

Quelques délégués ont été d'avis que peu d'attention a été accordée à la gestion des charges. Des stratégies diverses qui inciteront les gros consommateurs à déplacer leur demande vers les heures creuses ont été discutées. L'une de ces stratégies techniques bien éprouvées et économiquement avantageuses est celle du refroidissement de l'eau durant les heures creuses, eau qui pourrait être ré-utilisée pour refroidir le liquide circulant dans l'ensemble du bâtiment pendant les heures de pointe. Une telle méthode semble être moins coûteuse que la construction d'une nouvelle capacité génératrice pour répondre à la demande de charges pour le conditionnement de l'air aux heures de pointe. Ces discussions ont également fait ressortir le fait que toute stratégie de gestion des charges requiert une tarification fondée sur le coût (économique) de l'électricité ainsi que de l'équipement moderne de comptage et de monitoring qui doit être fourni par le producteur.

La question réduction des pertes lors de la transmission et de la distribution d'électricité a reçu beaucoup d'attention, et les initiatives prises par la Banque Mondiale ont été citées à ce sujet. Tous les pays de la région ont un taux de pertes très élevé (allant jusqu'à 40 pourcent) et des mesures économiquement avantageuses capables de réduire ces pertes de transmission, sont nécessitées d'urgence. De telles mesures comprennent, sans pour cela s'y limiter, le contrôle des puissances par réactance avec condensateurs, des commutateurs de charge, et l'utilisation de transformateurs de haute puissance. Des études entreprises par la Banque Mondiale indiquent que les dépenses nécessaires pour économiser de l'électricité en améliorant le réseau de transmission et de distribution n'atteignent que le tiers du coût nécessaire pour fournir de l'électricité nouvelle.

1.2.4 Bâtiments Commerciaux et Administratifs

Le conditionnement de l'air dans les hôtels et les bâtiments commerciaux des pays de la CEDEAO constitue une part importante de la demande d'électricité. D'après des audits d'énergie entrepris au niveau des bâtiments à Dakar, Sénégal, des économies allant jusqu'à 20 pourcent ou plus peuvent être réalisées, en ayant recours à une meilleure gestion énergétique et au monitoring, à une réduction des niveaux d'éclairage excessivement élevés, et à de légères modifications de l'équipement.

Un des conférenciers a souligné combien il est important de tenir compte de l'efficacité énergétique lors des études de projets d'architecture des bâtiments. Le fonctionnement du programme d'informatique DOE-2 permettant de prévoir quelle sera la performance énergétique des bâtiments a été amplement expliquée et discutée. La méthode permettant de telles prévisions dans les pays tropicaux a été appliquée à Singapore de façon très réussie, et a ainsi permis de réexaminer les normes de construction existantes et de viser à établir des normes plus réalistes.

L'importance du système est son potentiel de créer un modèle de l'utilisation énergétique, avant même que l'architecte ait pu achever son projet architectural; ainsi, les considérations d'économies d'énergie pourront être incorporées avant même que le bâtiment atteigne le stade de la construction, c'est à dire avant qu'il ne soit trop tard de le faire. L'incorporation d'éclairage et d'appareils énergétiquement efficaces dans les nouveaux hôtels et bâtiments commerciaux a également été considérée comme importante.

En réponse aux questions sur la mise en application du programme DOE-2 dans les pays de la CEDEAO, il a été suggéré qu'un tel projet soit établi en coopération avec une association professionnelle d'architectes de la région qui pourra ainsi appliquer le programme DOE-2 à la formulation de nouvelles normes de construction de bâtiments. Un délégué a noté que le design architectural des bâtiments des grandes sociétés multinationales se fait hors de l'Afrique de l'Ouest; la forte croissance de la demande d'électricité qui en résulte, impose aux centrales électriques des pays d'Afriques de l'Ouest la tâche de répondre à cette demande accrue.

Il a été décidé que les gouvernements pourraient jouer un rôle utile qui consisterait à refondre et augmenter les codes et règlementations de construction, à donner leur appui aux programmes d'audit énergétique, et à

fournir aux architectes de la région de l'information sur un grand nombre de technologies et d'études de projets d'architecture.

1.2.5 Le Secteur des Transports

Le secteur des transports étant le plus grand consommateur de combustibles de pétrole en Afrique de l'Ouest, il importe de prendre de bonnes mesures d'efficacité énergétique et les appliquer à ce secteur, même si elles sont complexes, d'autant plus que l'utilisation de fuels de remplacement ne semble pas être pour demain. Pourtant, en dépit d'un secteur d'une telle importance ayant un potentiel de grandes économies d'énergie, les méthodes d'audits énergétiques employées dans ce secteur sont bien moins avancées que celles employées dans les secteurs industriel ou producteur d'électricité; de même, les méthodes pour l'obtention d'économies d'énergie dans le secteur des transports sont également bien inférieures à celle des secteurs précités. De plus, les mesures d'efficacité énergétique devraient aller de pair avec les politiques des transports à l'échelle régionale, nationale, et locale.

Les résultats d'une enquête sur les transports menée à Dakar, Sénégal, ont été présentés. Les données provenant des autorités locales ont été comparées avec celles d'autres pays, ceci dans le but de déterminer le potentiel d'économies d'énergies réalisable. L'enquête a révélé que les conducteurs d'autobus à Dakar font démarrer le moteur plusieurs heures à l'avance afin de ne pas câler le moteur et d'en obtenir une bonne marche dès le début du parcours. Des améliorations apportées à la maintenance, c'est à dire élimination des difficultés de démarrage, ont permis aux conducteurs de faire démarrer le moteur à l'heure du départ fixée par l'horaire; ainsi, la consommation de carburant a diminué de 10 à 20 pourcent. D'après l'expérience acquise au Zimbabwe et au Canada, la formation de conducteurs d'autobus et de camions permettra de réduire de 10% la quantité de carburant utilisée.

Parmi d'autres mesures d'efficacité énergétique, il faut citer les options de type technique telle que la conversion en moteurs diesel, les options d'ordre organisationnel tel qu'un réseau des transports amélioré, et des options de type social qui permettraient de réduire la demande pour les transports, telle que l'élimination des rentrées chez soi aux heures du déjeuner qui est un exemple bien à propos. Quelques délégués ont exprimé leurs doutes sur cette dernière suggestion en raison des difficultés et du prix élevé des repas ainsi engendrés. D'autres délégués ont cité l'exemple de la Guinée comme étant positif.

La discussion s'est alors portée sur une étude de cas effectuée dans la République Dominicaine sur l'efficacité énergétique des divers modes de transport; dans ce contexte, les options techniques et politiques ont alors été discutées. L'importance de la souplesse et de la rapidité du transport de marchandises par voie routière a été soulignée, en dépit du fait que le transport de marchandises par voie ferrée ou par eau ait un meilleur rendement énergétique. Les délégués ont noté que les questions suivantes s'adressaient en particulier aux pays de la CEDEAO: (1) difficultés de mesurage du rendement du carburant qui doit se faire tant sur les routes pavées que sur celles non-pavées, (2) le peu d'efficacité en raison de l'irrégularité des points d'arrêt et de départ des taxis et micro-bus, (3) achat de véhicules avec des revenus non-déclarés, (4) rôle positif que pourrait jouer l'adop-

tion d'un meilleur réseau téléphonique et service postal dans le but de réduire la consommation de carburant nécessaire pour les transports. Parmi les questions restées sans réponse: transports publics face au privé, transport ferroviaire face à l'autobus, profitabilité face à l'efficacité, difficultés à obtenir un bon maintien des routes, et transférabilité des résultats provenant de pays industrialisés. D'après plusieurs orateurs, des trolley-bus (sans rails) pour le transport urbain pourraient être actionné par l'hydro-électricité économiquement avantageuse, là où faisable; ce mode serait non seulement énergétiquement efficace, mais permettrait de réduire la quantité de fuels de pétrole nécessaire.

Le directeur de la régie des transports de la CEDEAO avait porté un intérêt particulier à l'aspect économies d'énergie à l'échelle des municipalités, régionale, et nationale, et a proposé qu'une équipe de spécialistes vienne étudier les zones où existent des problèmes, afin de pouvoir déterminer les mesures qu'il faudra prendre à court terme, et les possibilités d'électrification des lignes qui pourront être entreprises à long terme.

1.2.6 Le Secteur Ménager

Quoique hors-programme, une séance spéciale a eu lieu sur la question du bois de chauffe. Une discussion-débat s'était portée sur les diverses possibilités d'amélioration qui permettraient une meilleure utilisation du bois de chauffe et du charbon de bois. Les animateurs du débat, représentant la GTZ qui est l'agence Ouest-allemande AID, ont résumé l'expérience que l'agence a eue avec les poêles au bois en Haute-Volta. D'après des essais bien définis qui furent entrepris par la GTZ, les foyers constitués par les trois pierres traditionnelles avaient un rendement énergétique de 14% environ. Ces enquêteurs ont réussi à introduire des poêles en terre cuite du type immobile ayant un rendement énergétique allant jusqu'à 30 pourcent. Mais dans la plupart des cas, ces poêles n'ont pas été adoptés en raison des coûts, de la mauvaise qualité de fabrication, et du manque de formation du personnel capable de diffuser et de faire le suivi de ces poêles.

Un autre participant au débat a parlé de l'universalité du déboisement à travers tous les pays du tiers monde et a mis ce problème dans un contexte socio-économique. Il a avancé plusieurs options techniques capables de combattre le déboisement, dont il faut citer: déplacement, dans l'immédiat, du bois vers le kérosène comme fuel de cuisine, développement de charbon de bois à partir de résidus agricoles, et cultivation de plantes énergétiques en guise de fuels pour la cuisine, ainsi que pour la génération d'électricité, et le fourrage de bétail. Il a été noté que l'aspect économique des poêles au bois doit être considéré sous l'angle de l'utilisateur individuel (pour qui les dépenses financières doivent résulter en des bénéfices également financiers), sous celui de la société au large, et celui du gouvernement. Un autre participant au débat a conclu qu'aucun programme réaliste parviendrait à faire diffuser les poêles de cuisine en raison du manque quasi-total d'infrastructure de marketing. Dans la discussion qui a suivi, un seul représentant a cité la réussite du programme de poêles de cuisine, alors que la plupart des autres sont restés pessimistes.

D'après des études récentes entreprises avec l'appui du Board on Science and Technology for International Development faisant partie du U.S.

National Research Council sur la production de pôeles et de bois de chauffe en Afrique, la réalisation d'économies de bois en utilisant des poêles n'était pas évidente. Ces études ont également montré qu'après les efforts de reboisement, le taux de survie n'était que de 20 pourcent après 2 ou 3 ans. Les délégués se sont mis d'accord sur la nécessité de bien encourager les populations de planter, à l'intérieur de leur structure agraire, des arbres auxquels ils devront donner des soins continus; pour atteindre cet objectif, des recherches sur les arbres seront nécessaires pour trouver une espèce qui rapportera des bénéfices variés aux planteurs et pour identifier l'organisation qui conduira ces recherches et répartira un type de semence amélioré dans tous les pays de la CEDEAO.

1.2.7 Mise en Application des Mesures d'Efficacité Energétique

Les mécanismes politiques et institutionnels qui peuvent servir à la mise en application des mesures d'efficacité énergétique ont été l'objet de débats et de discussions très amples au cours de ce séminaire, et des exemples provenant de plusieurs pays industrialisés et en développement ont été cités. Cinq catégories de mesures ont été identifiées:

-- Assistance technique et financière pour entreprendre des audits énergétiques et des programmes de formation, ainsi que des programmes d'éducation et de promotion à l'adresse de ceux qui prennent des décisions.

-- Modification de la politique de fixation des prix qui reflètera les coûts économiques des diverses options, des ressources d'énergie et de l'efficacité énergétique, tout en maintenant les avantages sociaux, c'est à dire les prix subventionnés dont bénéficient les consommateurs aux revenus faibles.

-- Allocation de capitaux d'investissement à grande ou moyenne échelle.

-- Etablissement de normes obligatoires sur l'efficacité énergétique en ayant recours à des procédures de règlementation et de contrôle.

-- Encouragements fiscaux pour l'installation, la fabrication, et l'importation d'équipement ayant un rendement énergétique efficace. Ces encouragements pourraient inclure des allègements fiscaux, des réductions de tarifs douaniers, et des ententes de fabrication sous licence.

L'importance relative de ces mesures dépend évidemment des particularités de la situation de chacun des pays. Tout en percevant les bénéfices économiques d'une politique de fixation des prix fondée sur les prix marginaux, plusieurs délégués se sont exprimés sur les difficultés politiques et sociales engendrées par une hausse des prix et se sont inquiétés des effets qu'une majoration des prix du combustible et de l'électricité pourraient avoir sur les populations plus pauvres. Quelques délégués ont exprimé leur souhait de recevoir des informations plus détaillées sur les expériences acquises par les pays se rapportant aux modifications de la politique de

a indiqué combien l'appui et les encouragements gouvernementaux étaient importants pour la diffusion d'information, pour la conduite d'audits sur l'utilisation énergétique, pour la mise en place de projets de démonstration, et pour la gestion des bénéfices financiers et économiques provenant de l'efficacité énergétique.

Plusieurs délégués ont souligné l'importance de l'idée d'expertise locale pour la conduite d'audits et d'études de pré-faisabilité. Selon une proposition, la CEDEAO pourrait jouer un rôle important qui consisterait à assister les états membres au développement d'une expertise locale et à la formation de cadres d'experts qualifiés à étudier la pré-faisabilité des projets pour ces pays. Ainsi, ces études coûteraient moins et correspondraient mieux aux réalités locales, quoique les grandes agences de prêts jugeront quand même nécessaire d'entreprendre des études de faisabilité finales avant d'accorder des prêts importants. Cette proposition a reçu l'approbation générale.

1.3 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

David J. Jhirad

1. INTRODUCTION

A la suite du Séminaire, un programme concernant les problèmes énergétiques devrait pouvoir être établi par la CEDEAO; il devrait pouvoir aboutir dans les une ou deux prochaines années à des résultats concrets dans le domaine des économies d'énergie et de sa meilleure utilisation.

Dans l'établissement des recommandations, le séminaire a été également guidé par les considérations suivantes:

- la nécessité de réaliser des projets qui auront un impact significatif sur le processus de résolution des problèmes majeurs rencontrés par les Etats membres de la CEDEAO dans le domaine de l'énergie;

- la nécessité de mettre en place des mécanismes qui permettront d'être sûr que les premiers résultats enregistrés dans un ou deux Etats membres soient répercutés dans l'ensemble de la région;

- ceci pourrait être obtenu grâce aux opérations de formation organisées dans les pays industrialisées et dans ceux où seront implantés les projets pilotes;

- l'adoption d'une stratégie visant à la mise en oeuvre de projets qui, tout en contribuant au développement à moyen et long terme des potentialités et des institutions locales, présenterait également à court terme des résultats à la fois tangibles et mesurables;

- avec l'aide des Agences donnatrices, la CEDEAO peut aussi contribuer d'une manière substantielle à cet effort en établissanc un cadre financé centralement pour des experts provenant soit des pays membres soit de pays extérieurs.

  Ce groupe d'experts se consacrera à un travail en coopération avec les experts et les institutions locales des pays membres pour résoudre les problèmes spécifiques.

- la nécessité d'entreprendre des démarches appropriées en vue de la mise en application des recommandations formulées au cours du Symposium de la CEDEAO sur l'énergie, à Freetown, Sierra Leone, en Novembre 1981, et approuvées par le Conseil des Ministres en Mai 1982 à Cotonou.

Le Séminaire a noté l'absence d'informations quantitatives et qualitatives adéquates sur la production et l'utilisation de l'énergie dans les Etats membres de la CEDEAO ou sur des études de cas permettant d'illustrer leur stratégie en matière d'économie d'énergie et d'énergies renouvelables.

Il a été recommandé en conséquence que la CEDEAO mette en place un programme d'information pour satisfaire ces besoins.

Comprenant l'importance du bois de chauffe (sous forme de bois ou de charbon de bois) dans l'économie de l'énergie dans la CEDEAO, il est proposé qu'un séminaire soit organisé pour promouvoir et améliorer l'usage de cette ressource dans la région Ouest-Africaine.

2. LE ROLE DE LA FORMATION DANS LA REGION

Le rôle de la formation dans le transfert aux pays membres de la CEDEAO de l'expérience, de la capacité d'analyse des problèmes et de la technologie a été reconnu par les participants à la Conférence comme étant d'une importance majeure.

Lorsqu'il y aura un projet dans un pays, il y aura nécessairement une composante formation.

Il y aura, toutefois, un besoin pour des cours de formation de base et de perfectionnement en Anglais et en Français pour couvrir certains sujets. Citons:

- Gestion des données informatisées, utilisant éventuellement les micro-ordinateurs.

- Planification d'un système régional de production d'électricité ainsi que planification dans le secteur de l'industrie, du transport et du bâtiment.

- Analyse économique et financière des projets.

- Cours de recyclage destinés à faire connaître aux audiences régionales les dernières évolutions dans le domaine technique; celles-ci pouvant connaître de larges applications dans la Région.

- La conception, la mise en oeuvre et la maintenance des systèmes d'énergie conventionnelles depuis la production jusqu'à la mise à la disposition du consommateur et l'utilisation finale dans les équipements.

3. ECONOMIES D'ENERGIE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

Objectifs pour la fin de 1984

- Formation dans le domaine des techniques d'Audit Energie (en 3 cycles de formation réalisés dans 3 pays, comme il est indiqué dans l'Annexe) et cela pour 40-50 techniciens des pays de la CEDEAO en tenant compte d'une participation d'un minimum de 2 personnes provenant de chacun de ces pays.

- Visites rapides d'usines destinées à donner aux participants un certain nombre d'idées de base pour la réalisation des économies d'énergie et des directives utilisables par les techniciens: ceux-ci devraient se trouver parmi les participants au stage.

- Réalisation d'Audits dans certaines de ces usines d'une durée approximative d'une semaine et étude de recommandations plus complètes concernant les améliorations (spécialement en ce qui concerne la gestion).

- Mise en route de programmes majeurs dans des unités industrielles présentant un intérêt particulier pour la majorité des Etats membres de la CEDEAO; ceci pourrait comprendre également des étude de cas, des exemples de réussites pouvant servir d'opérations de démonstration.

4. PRODUCTION, TRANSPORT ET DISTRIBUTION DE L'ELECTRICITE

Comme de nombreux participants au Séminaire provenaient du secteur électrique, nous présentons dans cette section un programme assez développé le concernant:

Les programmes concernant le Bâtiment (section 5), les Transports (section 6) et la Biomasse (section 7) sont relativement moins élaborés.

Ces différences ne devraient pas être considérées comme une indication selon laquelle les économies d'énergie dans ce secteur sont moins importantes mais plutôt être ressenties par le Secrétariat de la CEDEAO comme une sorte d'incitation à mettre en oeuvre des programmes plus complets pour ces secteurs.

4.1. LES OBJECTIFS

Les objectifs assignés aux projets de ce secteur devraient être:

- accroître le degré de disponibilité des unités de production existant dans les centrales actuelles;
- accroître le degré de fiabilité des lignes de transport;
- accroître le degré d'efficacité des installations de transport et de distribution;
- renforcer la capacité organisationnelle du secteur à planifier, construire, opérer et entretenir les unités de production et les réseaux de transport et de distribution.

4.2. STRATEGIE

La stratégie à adopter pour atteindre ces objectifs devrait être la suivante:

- aller du particulier au général et promouvoir les interconnections de réseau;
- réaliser des opérations de démonstration en choisissant avec soin quelques exemples d'améliorations apportées à des systèmes ou à des installations;
- réaliser des opérations de formation sur le tas destinés à contribuer à la concrétisation de plans d'action. Les personnes faisant l'objet de ces opérations de formation devraient provenir des organisations

qu'elles concernent ainsi que d'autres organisations ayant des plans similaires;

- fournir au personnel du secteur des outils d'analyse et de calcul pour la planification, la prise de décision, l'évaluation et la réalisation des programmes d'action.

4.3 PROGRAMME D'ACTION

En une première phase, identifier jusqu'à trois organisations qui serviront de cadres aux activités suivantes:

a) planifier et exécuter un programme de rénovation et d'amélioration des conditions de fonctionnement centrales électriques,

b) organiser la maintenanc en concevant des plans concrets permettant de s'assurer que les centrales pourront fonctionner et être entretenues comme prévu à l'alinéa (a),

c) établir un système de gestion des pièces de rechange et étudier la création d'une banque régionale de pièces de rechange,

d) former un nombre suffisant d'ingénieurs et de techniciens à tous les niveaux pour réaliser les points (a) (b) et (c),

e) examiner les possibilités de lier les industries existantes ou à créer avec les centrales électriques existantes en vue de réaliser des opérations de cogénération et d'utilisation des résidus thermiques,

f) envisager des solutions pratiques et acceptables en termes de coût et d'efficacité permettant de substituer au fuel oil, le charbon, la tourbe ou d'autres sources d'énergie disponibles localement,

g) étudier les réseaux régionaux de distribution d'électricité en vue d'optimiser l'utilisation des capacités de production, de minimiser les pertes en ligne et à la distribution et de réaliser les augmentations de capacité en utilisant au maximum les ressources locales en énergie primaire.

4.4 OUTILS DE PLANIFICATION DANS LE SECTEUR ELECTRIQUE

Les plans de développement du secteur électrique ne peuvent être considérés comme crédibles que s'ils prévoient l'intégration des diverses options concernant la production, le stockage et le transport à la fois dans chaque pays et au delà des frontières.

Au cours des trois dernières décennies des modèles informatisés ont été mis au point en Europe et aux Etats Unis dans le même but. Les progrès réalisés récemment dans la technologie des micro-ordinateurs permettent d'adapter ces modèles à des équipements coûtant de 10 à 15 000 Dollars US, les mettant ainsi à la portée des compagnies Ouest-Africaines d'électricité ainsi qu'à celles de la CEDEAO elles-mêmes.

Le Séminaire propose qu'un effort soit fait pour adapter de tels modèles à un système informatisé de prix réduit; il propose également la mise en place de ce système dans un pays de la CEDEAO ou dans les bureaux d'une compagnie d'électricité centrale, la création d'une base de données initiale et la formation de personnel africain pour son utilisation. Un tel effort comprendra:

a) l'établissement d'un système de prévision de la demande future pour donner une traduction quantitative aux divers scénarios envisagés par les planificateurs de la CEDEAO;

b) un programme de planification de la production d'électricité au moindre coût selon un scénario établi par les planificateurs et basé sur une analyse des données enregistrées sur une durée de plusiers dizaines d'années et prenant en compte les unités existantes. Ce programme qui constituera le coeur du système, sera basé sur un modèle de planification reconnu mais adapté à un système plus réduit et au contexte des sociétés d'électricité des membres de la CEDEAO (citons l'importance particulière à accorder à la production des mini et micro centrales et à leurs variations saisonnières et stochastiques). Les échanges entre pays et l'option constituée par la création d'une unité de planification régionale serait prise en compte.

c) un modèle d'analyses des coûts qui permettra d'estimer à l'avance la situation financière des sociétés d'électricité pour la période couverte par la simulation ainsi que de procéder à la comparaison des différents scénarios;

d) un module d'analyse des tarifs qui permettra d'évaluer pour les sociétés existantes ou pour toute simulation les recettes et les dépenses annuelles en fonction des diverses structures de tarif,

Ces éléments sont indispensables pour procéder à une planification sérieuse autant au niveau national qu'au niveau régional.

5. PROPOSITION POUR LA CREATION D'UN GROUPE DE RECHERCHE POUR L'UTILISATION DE L'ENERGIE DANS LE BATIMENT.

Il a été proposé de mettre en place un petit groupe de professionnels experts en conception de bâtiment (architectes et autres techniciens) chargés de réaliser des études dans le domaine de l'utilisation et de l'économie de l'énergie dans le bâtiment, de préparer des documents techniques et de fixer des normes à appliquer au niveau de la sous-région. La première phase consiterait à rassembler des données climatiques et des informations sur les matériaux de construction locaux, et à former un groupe pour l'utilisation du programme DOE-2 d'analyse de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment. Sur cette base, le groupe pourra développer des nomographies, des diagrammes et autres procédés permettant de mettre en évidence la liaison existant entre la manière dont est utilisée l'énergie dans le bâtiment et les paramètres caractérisant chaque zone climatique de la sous-région. Le groupe sera assisté par des experts qui ont déjà développé et utilisé le programme DOE-2 et sera chargé de la mise en oeuvre du programme, de la formation du personnel pour l'utilisation du programme et du processus de préparation des manuels de conception.

6. ECONOMIE D'ENERGIE DANS LES TRANSPORTS.
Objectifs - fin 1984.

- Formation de techniciens de pays de la CEDEAO spécialisés dans les transports à la réalisation d'Audit Energies dans ce secteur. Cette formation sera assurée dans un ou plusieurs pays de la CEDEAO pour permettre la réalisation de travaux pratiques sur le terrain.

- Mise en place de programmes de formation des conducteurs à la conduite économique.

- Etudes sur le terrain ayant pour objet la réalisation d'Audit Energies préliminaires et cela dans plusieurs pays de la CEDEAO. L'équipe comprendra un consultant, des techniciens et des économistes du pays étudié ainsi qu'au moins un planificateur d'un autre pays de la CEDEAO (de préférence une personne ayant déjà participé à une session de formation).

- Une ou plusieurs bonnes études de cas illustrant les mesures prises récemment au niveau politique par les Etats membres de la CEDEAO en vue de contrôler l'utilisation de l'énergie dans le secteur des transports (exemple: plus grande utilisation des autobus, mesures de contingentement, augmentation du prix du pétrole...). Ces études de cas seront remises à tous les groupes chargés de la planification de l'énergie et aux ministères de la CEDEAO chargés des problèmes de transport; elles pourront également servir de documents de base dans les séminaires de formation.

- Préparation d'un manuel de planification de l'utilisation de l'énergie dans le secteur des transport dans la CEDEAO. Ce manuel contiendra:

  1. - des données de base sur la consommation d'énergie dans les transports dans les Etats de la CEDEAO;

  2. - les politiques d'économie de l'énergie actuellement en vigueur;

  3. - des systèmes de collecte de l'information grâce auxquels la CEDEAO pourra constituer une base de données concernant l'utilisation de l'énergie dans le secteur des transports; et

  4. - les résultats des Audits d'Energie dans les transports réalisés dans certains pays.

Ce manuel servira de document de base dans les débats entre représentants de la CEDEAO portant sur les futures politiques en matière d'énergie et de transports.

Outre les activités mentionnées ci-dessus, on procédera à une étude portant sur les Etats de la CEDEAO et concernant les relations existant entre les investissements routiers, les équipements de transport et les économies d'énergie. Le système des transports est entièrement lié au développement économique et en pratique 25 pour cent du budget d'équipement est destiné au secteur des transports. Si, pour réaliser des économies d'énergie, les taxis étaient remplacés par des autobus, moins de surface routière serait requise pour chaque passager transporté. Une telle option

pourrait procurer quelques économies pour la construction des routes. Avec des coûts de construction d'un km de route allant de 25'000 Dollars U.S. pour les routes en terre à presque 600'000 Dollars U.S. pour les routes goudronnées construites dans la région de la CEDEAO, cela pourrait réduire le montant des investissements routiers et par suite celui des investissements dans la région.

Etant donné que les budgets d'investissement (représentant la construction des routes) et les frais recurrents (liés aux importations de pétrole) sont des facteurs interdépendants et importants dans la planification de l'énergie dans le secteur des transports, une étude englobant tous ces facteurs est nécessaire pour aider à la formation de la politique énergétique dans le secteur des transports.

7. PROJET DE PROGRAMME DE LA CEDEAO PORTANT SUR L'AGROFORESTIER ET LES ENERGIES RENOUVELABLES.

Le contexte

Des études récentes ont mis en exergue l'impact de l'augmentation des prix de l'énergie sur la production et la préparation des aliments dans la Région. La productivité agricole a baissé dans la mesure où les prix de l'engrais devenaient inabordables pour les agriculteurs; par ailleurs, le bois de chauffe devient rare car les populations le substituent de plus en plus au pétrole lampant. Le reboisement s'effectue plus lentement que le déboisement et une telle situation réduit la capacité des sols à retenir l'humidité et à résister à la sécheresse en même temps qu'elle entrave la regénération naturelle des forêts grâce à l'action des animaux et oiseaux sauvages. Les états membres de la CEDEAO reconnaissent l'importance du reboisement. Cependant la mise en oeuvre du programme de reboisement se heurte à des difficultés parce que les techniques appropriées qui doivent réunir la faisabilité technique et les incitations économiques et sociales n'ont pas été suffisamment développés.

Au niveau technique, il conviendrait de développer, outre les essences traditionnelles retenues par les départements des forêts et des bassins versants, d'autres essences que les agriculteurs pourraient utiliser comme fourrage, pailles, engrais, brise-vent, clôture et bois de chauffe. D'après l'évaluation récente qui a été faite des efforts de reboisement, l'insuffisance des semences pose de sérieux problèmes, les essences ou variétés bien adaptées aux conditions locales ne sont pas disponibles en quantités suffisantes, la technologie relative aux pépinières n'est pas à même de produire assez de semences et de semis et en plus les systèmes de protection des jeunes plantes sont presque inexistants. En conséquence, on estime qu'avec les activités de reboisement déjà si faibles, seuls 20% des semis parviennent à survivre au-delà de deux à trois ans.

Récemment de nombreux pays de la CEDEAO ont manifesté une activité croissante en R. et D. dans le domaine de l'agro-forestier et de celui des énergies renouvelables dans une tentative de mettre au point des ensembles d'activités liées concernant la forêt la production d'énergie pour le monde rural et l'activité agricole.

Ces efforts sont limités en étendue et à ce jour il n'y a pas de mécanisme effectif pour divulguer les résultats obtenus, mettre les semences et les autres éléments techniques à la disposition des parties intéressées à l'intérieur de la CEDEAO.

Les organisations concernées par ce sujet sont:

- l'USAID
- le Conseil International pour la Recherche Agroforestière
- le Centre Technique Tropical
- l'Académie Nationale des Sciences (U.S.A.)
- GTZ
- IDRC
- La Banque Mondiale
- un grand nombre d'organisations privées ou bénévoles.

Rôle proposé à la CEDEAO.

Pour sa part de responsabilité dans sa tâche d'aider les activités des pays membres dans le domaine de la fourniture et d'économie d'énergie, dans celui de l'agriculture et dans le cadre de la Décennie du Reboisement, la CEDEAO peut stimuler et aider l'activité forestière et celle des énergies renouvelables: elle pourrait renforcer les capacités locales, améliorer la coordination des efforts des pays membres et fournir des moyens de divulguer les résultats techniques et mettre à disposition les moyens de réalisation.

La CEDEAO devrait provoquer une réunion à l'échelon régional des responsables des pays membres s'occupant des forêts et des énergies renouvelables, ainsi que les représentants des principales organisations concernées par la R. et D. de cette technique en Afrique de l'Ouest.

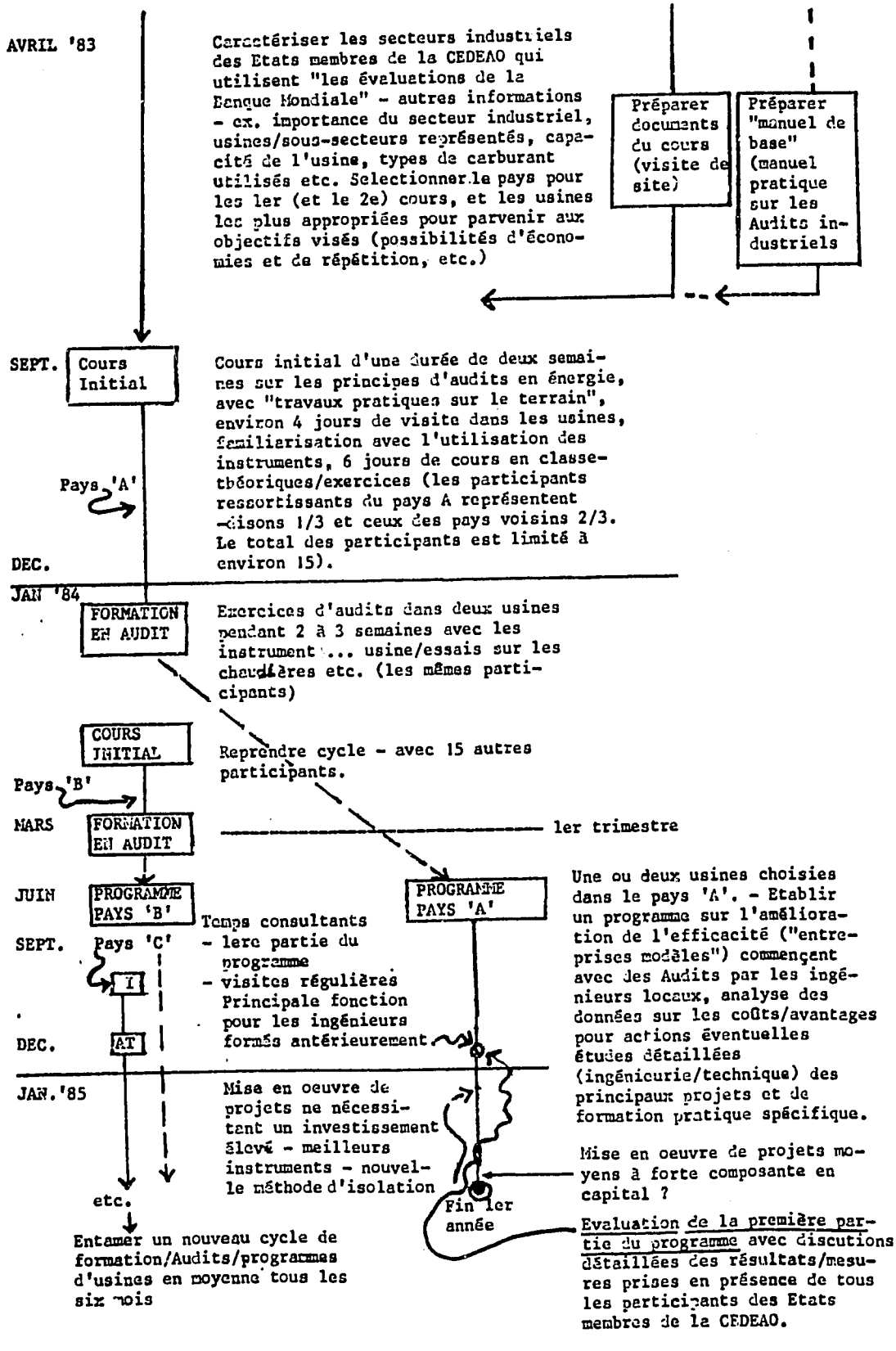
Les objectifs de cette réunion devraient être les suivants:

- passer en revue la situation des Etats en matière d'énergies renouvelables y compris leur potentialité
- identifier les besoins en matériel génétique amélioré, en collection de semences, les possiblités de stockage et de distribution
- identifier les systèmes améliorés d'utilisation du bois et du charbon de bois
- identifier les possibilités de remplacement des produits pétroliers par des sources d'énergies renouvelables (biogaz, générateur de gaz, énergie solaire)
- identifier les besoins en formation
- envisager les possibilités de coopération avec le Centre pour les Ressources Microbiologiques (MIRCEN, Dakar), en ce qui concerne les facteurs microbiologiques du sol.

- discuter des aspects sociaux et économiques des systèmes intégrés de production d'alimentation humaine et animale, l'amélioration des sols et la production de bois de chauffe et de charbon de bois

- établir des lignes directives pour une coopération régionale en matière de besoins d'information et de divulgation des techniques.

Programme Proposé pour les Audits Energétiques dans le Secteur Industriel



SECTION 2

RAISONS POUR L'EFFICACITÉ ENERGETIQUE ET LES ECONOMIES D'ENERGIE

2.1 APERCU DE LA SITUATION ENERGETIQUE DANS LES PAYS DE LA CEDEAO

Asif M. Shaikh

1 INTRODUCTION

On peut espérer que le traitement d'un sujet d'une telle complexité qui doit se faire dans le peu d'espace de ces quelques pages, parviendra à démarquer les traits communs et divergeants qui existent dans les pays de la CEDEAO. Par conséquent, cet article présentera tout au plus une série de statistiques et de perspectives dont l'ensemble pourrait constituer un tableau de valeur.

Il est important de relever dès le début une des vérités sur lesquelles repose le sujet en question, à savoir que la situation énergétique d'un pays découle de la situation économique dont la situation énergétique est en même temps une composante. A mon avis, il est évident que le rapport qui existe entre énergie et économie est la raison principale pour laquelle nous sommes tant préoccupés par les problèmes énergétiques.

a) Sur un plan macro-économique, l'énergie est essentielle à la production et aux échanges. Une pénurie d'énergie peut restreindre ou interrompre ce processus, et des coûts élevés de l'énergie peuvent soustraire des ressources aux secteurs de développement considérés comme prioritaires.

b) Sur un plan de prises de décisions par des unités individuelles, l'énergie peut être avant tout considérée comme étant une dépense étroitement liée à la conduite d'activités économiques. Les responsables des prises de décisions dans le secteur privé attacheront de l'importance à l'énergie selon les facteurs suivants: rapport entre coût de l'énergie et coût total, existence d'alternatives à l'énergie coûteuse, et la capabilité de retransmettre les coûts aux consommateurs.

Aperçu économique

La vaste majorité de la population des pays de la CEDEAO se consacre à l'agriculture, car 75% de la population vit dans des régions rurales. Malgré le rôle important joué par l'agriculture pour subvenir aux besoins d'une telle population rurale, la production agricole n'a pas suivi le rythme de croissance des autres secteurs, ni même répondu à la croissance de la population.

D'après des données recueillies dans 15 pays, il est surprenant et même quelque peu décevant de noter que depuis 1979, le secteur des services constituait la majorité du produit intérieur brut dans 10 pays, le secteur agricole était majoritaire dans 4 pays seulement, et ces deux secteurs étaient à égalité dans un pays seulement. Dans l'ensemble des 15 pays étudiés, les secteurs agricole et de service ont contribué 39% au produit intérieur brut, alors que les secteurs de l'industrie et des mines ont contribué 22% approximativement.

Il est vrai que ces statistiques ont plutôt tendance à amoindrir le rôle central que jouent les secteurs agricole et forestier. L'agriculture fournit 75 - 80% des produits de récolte nécessaires à la subsistance de la population

Previous Page Blank

et fournit également les produits de récolte destinés à la vente qui, d'ailleurs, constituent pour la plupart des pays, la majorité des exportations. De même, l'agriculture fournit une forte proportion des marchandises transportées et contribue à l'industrie du conditionnement des denrées alimentaires, secteurs qui sont généralement considérés comme faisant partie des secteurs de service. Les récoltes forestières ravitaillent les ménages des zones rurales et urbaines, fournissent le fourage au bétail, et pourvoient le bois de construction destiné à l'usage intérieur et à l'exportation (dans les pays côtiers).

Seul dans quatre états membres, le Nigeria, la Côte d'Ivoire, le Libéria, et le Ghana, les revenus par personne sont supérieurs à 500 dollars par an. Depuis l'année 1980, 23% en moyenne de la population des pays de l'ECOWAS vit dans les régions urbaines, ce qui représente un doublement de la population urbaine par rapport aux années 1960. Au cours de 1975-1980, par contre, la production annuelle de produits alimentaires par personne a baissé dans quatorze des seize états membres. Et au moins douze parmi les seize pays membres de la CEDEAO, ont des comptes-courants chroniquement déficitaires résultant de la balance de paiement. Ces statistiques ainsi que d'autres sont représentées dans le Tableau 1.

Ces caractéristiques ainsi que d'autres se rapportant à la situation économique des pays de la CEDEAO ont influencé les systèmes énergétiques en cours d'utilisation. Cet exposé se propose de:

-- mentionner brièvement les ressources énergétiques de la région,

-- discuter les points qui font saillie dans la configuration de la consommation d'énergie,

-- de conclure en essayant d'énoncer les questions prioritaires émanant de ce tableau-sommaire sur seize pays dont les aspects économiques, géographiques, et culturels varient d'un pays à l'autre.

2 RESSOURCES

Les principales ressources énergétiques locales exploitées actuellement dans les pays de la CEDEAO sont la biomasse, la capacité des centrales hydro-électriques, et les hydrocarbures. Le charbon et la lignite sont légèrement utilisés, notamment au Nigéria et au Niger.

Alors que tous les pays expérimentent actuellement avec des sources d'énergie nouvelle ou renouvelable, en particulier l'énergie solaire et éolienne, l'impact qu'elles exercent sur l'énergie consommée est négligeable pour la plupart des pays et restera ainsi pendant plusieurs années. Le temps nécessaire jusqu'à ce que de telles technologies soient véritablement ressenties au niveau de la commercialisation peut être estimé à 10 - 20 ans.

La ressource énergétique la plus abondante et la plus utilisée est sans aucun doute le bois. Chaque pays est doté de ressources considérables de bois,

---

* Selon des statistiques sur le revenu par personne en 1979.

Tableau 1
Aperçu économique

	PRODUIT INTERIEUR BRUT Millions de dollars	Taux de croissance annuelle moyen (% du PROD.INT.BRUT (1970-1979)	PROD.INT.BRUT par personne en $	Bilan compte-courant avant paiements d'intérêts sur dette publique extérieure	Réserves brut monnaies étrangères (millions de dollars)	Taux annuel d'inflation moyen (%) période 1970-1979
Bénin	850	3.3	250	-87	20	9.2
Cap-Vert	60		200			
Gambie	132	2.8	220			
Ghana	10,160	-0.1	899	282	404	32.4
Guinée	1,540	3.6	290	-54	35	4.4
Guinée-Bissau	137		171	-68	22	
Côte d'Ivoire	9,130	6.7	1,113	-560	168	13.5
Liberia	940	1.8	522	-91	55	9.4
Mali	1,220	5.0	179	-64	17	9.7
Mauritanie	470	1.8	293	-70	118	10.1
Niger	1,710	3.7	329	-96	5,870	10.8
Nigeria	75,170	7.5	910	1,429	137	19.0
Sénégal	2,480	2.5	450	-394	35	7.6
Sierra Leone	790	1.6	263	-109	47	11.3
Togo	1,000	3.6	417	-219	71	10.3
Haute Volta	860	-0.1	154	-68	67	9.8

Source: Accelerated Development in Sub-Saharian Africa - An Agenda for Action (Développement accéléré dans l'Afrique sub-saharienne - Un programme d'action), The World Bank , Washington, D.C., 1981.

quoique le rapport entre bois récoltable et demande renouvelée varie fortement selon que le pays se trouve situé dans la zone tropicale ou aride. Les ressources de bois seront l'objet d'études plus approfondies lors de ces séances. Cet exposé n'étudiera donc pas les questions impératives de récoltabilité du bois d'approvisionnement, de consommation énergétique de bois de combustion, ou d'efficacité de la transformation du bois en combustibles liquides.

Alors que presque tous les pays de la région possèdent un potentiel d'énergie hydro-électrique, seul une fraction de ce potentiel est actuellement en cours d'utilisation. Malgré tout, dans sept pays déjà, la majorité de l'énergie électrique provient des centrales hydro-électriques. Il existe également un potentiel pour les centrales hydro-électriques décentralisées et pour la production d'électricité à petite échelle.

Finalement, alors que les ressources de pétrole pourraient répondre douze fois à la demande de consommation de fuels de pétrole dans la région, la production de pétrole est toujours encore concentrée dans un nombre restreint de pays. En 1983, quinze des seize pays de la CEDEAO (sauf le Nigeria) ont une balance excédentaire d'importation de pétrole. De ces pays, seul la Côte d'Ivoire s'est fixé l'objectif de se rapprocher vers l'auto-suffisance en pétrole dans les cinq années à venir.

3 PROFIL DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE

Il est impossible de faire le profil de la consommation énergétique sans tomber dans le piège de la généralisation et des lieux communs.

Les données sur lesquelles cette section est basée, proviennent en grande partie de l'étude Energy Sector Profiles (Profils du secteur énergie) sur trente-sept pays africains du sub-Sahara réalisée par Energy/Development International dans le cadre de l'USAID "Energy Initiatives for Africa Project" (Initiatives énergétiques pour le projet Afrique). Ces profils, à leur tour, sont basés sur l'information recueillie dans des documents publiés et non-publiés de chaque pays. En Afrique d'Ouest en particulier, il existe peu de rapports publiés et fiables sur le secteur énergétique. Les données ainsi recueillies doivent par conséquent être considérées comme présentant la situation avec un ordre de grandeur correcte. Par contre, ces données ne peuvent pas servir de base pour une analyse énergétique ou une planification détaillée.

3.1 CONSOMMATION ENERGETIQUE SELON LE TYPE DE COMBUSTIBLE

Le bois de feu et le charbon de bois constituent plus des deux tiers en moyenne de la consommation totale d'énergie dans les pays de la CEDEAO lorsque mesurée en termes de pourcentage des ressources d'énergie totales consommées. Lorsque mesurée en termes de consommation d'énergie finale, c'est à dire la consommation après avoir escompté les pertes de conversion et les différences au niveau de l'usage final, ce pourcentage diminue sensiblement, peut-être même d'un facteur de deux (soit, près de 35% de la consommation finale d'énergie).

Revenons à notre premier étalon selon lequel un pays seulement parmi les seize de la CEDEAO, la Côte d'Ivoire, consomme le bois de combustible (charbon de

bois et bois de chauffe) de façon à constituer moins de 60% de la consommation énergétique totale. Dans six pays, la consommation de bois de chauffe atteint plus de 75% de la consommation totale.

Exception faite de quelques zones urbaines où des enquêtes détaillées ont été faites, peu d'information fiable est disponible pour nous indiquer quelle quantité de charbon de bois est utilisée par rapport au bois de chauffe. On peut malgré tout affirmer que la proportion de charbon de bois croît continuellement. Une des raisons pour ce déplacement est l'urbanisation rapide (6% par an en moyenne), car un plus grand nombre de ménages urbains que de ménages ruraux utilisent le charbon de bois. La tendence vers l'urbanisation dans la région est représentée dans le Tableau 2.

Tableau 2

Urbanisation: % de la population urbaine par rapport à la population totale

	1960	1980
Bénin	10	14
Cape Vert	--	--
Gambie	12	--
Ghana	23	36
Guinée	10	18
Guinée-Bissau	14	--
Côte d'Ivoire	19	38
Libéria	21	33
Mali	11	20
Mauritanie	3	23
Niger	6	13
Nigeria	13	20
Sénégal	23	25
Sierra Leone	13	25
Togo	10	20
Haute-Volta	5	9

Source: Accelerated Development in Sub-Saharan Africa - An Agenda for Action (Développement accéléré dans l'Afrique sub-saharienne - Programme d'action), The World Bank, Washington, D.C., 1981.

Il est économiquement plus intéresssant pour les producteurs d'acheminer le charbon de bois sur des grandes distances vers des centres urbains, parce que moins volumineux et moins pesant par Btu d'énergie que ne l'est le bois de chauffe. Pourtant, les méthodes actuelles de production de charbon de bois et les modes d'utilisation au stade de l'usage final sont telles, qu'elles se traduisent par un épuisement plus rapide des ressources forestières. Un pourcentage très élevé d'énergie utilisable se perd au cours de la transformation du bois en charbon de bois (atteignant souvent 85%). L'écart considérable entre ce qui est financièrement intéressant aux producteurs et aux consommateurs d'une part, et les coûts occasionnés à l'échelon social général (déboisement plus rapide) de l'autre, se produit parce que les forêts sont généralement considérées comme étant des marchandises libres à exploiter. Les calculs financiers individuels ne tiennent pas compte du fait qu'une plus grande quantité de bois est ainsi utilisé. Il appartient à la branche des pouvoirs publics d'intervenir pour obtenir une amélioration du rendement aux niveaux de

la production du charbon de bois et de son usage final, et de rationaliser les options de transport et de production de bois de combustible destinés aux centres urbains. De telles interventions sont d'ailleurs particulièrement bien réalisables dans le cadre de la CEDEAO.

Dans l'ensemble des pays membres, la consommation de pétrole constitue, en dehors de la consommation à des fins de production d'électricité, près d'un quart de la consommation totale d'énergie. La consommation de produits pétroliers varie cependant considérablement selon le pays, allant de six pourcent dans la Haute-Volta jusqu'à quarante trois pourcent dans le Sénégal et la Côte d'Ivoire.

Quant à la consommation d'électricité, six pays (Bénin, Togo, Ghana, Guinée, Côte d'Ivoire, et Nigeria) comptent sur la capacité hydro-électrique pour répondre à trois quart de leur demande d'électricité. Cinq pays comptent sur le fuel oil ou le diesel oil pour répondre à pratiquement 100% de la demande d'électricité. Les Tableaux 3, 4, et 5 représentent en détail le profil de la consommation énergétique.

Un aspect intéressant et exceptionnel de cette question est que plusieurs pays ont, depuis plusieurs années, collaboré avec succès à l'importation d'énergie électrique en provenance des pays voisins; il convient ainsi de citer l'exemple bien connu du Bénin et du Togo qui ont acquis de l'électricité produite dans le Barrage d'Akossombo au Ghana.

Tableau 3
Consommation totale d'énergie selon le type consommé
(pourcentage de l'énergie totale consommée)

	Produits pétroliers	Hydro-électricité	Electricité	Charbon de bois et bois de chauffe
Bénin	21	2		77
Cap Vert	31.6		5.7	63.7
Gambie	25			75
Ghana	20		10	70
Guinée	34	1		65
Guinée Bissau	27		4	69
Côte d'Ivoire	39.4	10.6		50
Libéria	16		22	62
Mali	8		16	76
Mauritanie	34		6	60
Niger	13		7	80
Nigéria	23		17	60
Sénégal	40			60
Sierra Leone				80
Togo	25		4	71
Haute-Volta	6			94

Nota: la fiabilité de ces données peut être mise en question.
Source: EIA Energy Profiles

Tableau 4
Consommation de combustibles de pétrole selon le secteur (pourcentage)

	Divers	Electricité	Résidentiel/ commercial	Agriculture	Industrie (mines incl.)	Transport
Bénin:	17	3	17	1	15	47
Cap Vert	--	non ind.	16	non ind.	3	81
Gambie	5	20	non ind.	6	1	68
Ghana	--	non ind.	non ind.	non ind.	20+	60+
Guinée	16	1	non ind.	non ind.	40+	31
Guinée Bissau	10	45	13		--	32
Côte d'Ivoire	n.ind.	non ind.	non ind.	non ind.	non ind.	non ind.
Libéria	1	7	1	2	5	32
Mali		20	8	20	20	52
Mauritanie		19	2		31	48
Niger		37	3		10	50
Nigeria			3.2		89.3	7.5
Sénégal	--	26	4	24	24	46
Sierra Leone	non ind.	non ind.	non ind.	non ind.	non ind.	non ind.
Togo	3		9	2	42	47
Haute Volta	non ind.	non ind.	non ind.	non ind.	non ind.	non ind.

Nota: Ces données sont très peu fiables pour la plupart des pays. Elles sont présentées dans ce tableau uniquement à titre d'information générale.
Source: EIA Energy Profile (Profil de l'énergie)

Tableau 5
Sources d'énergie électrique

	Fuel Oil	Diesel	Centrales hydro-électriques
Bénin		7.8	92.2
Cap-Vert			
Gambie	100		
Ghana			sources principales sont les centrales hydro-électr.
Guinée		12	88
Guinée-Bissau		100	
Côte d'Ivoire	26		74
Libéria	57	16	27
Mali		80	
Mauritanie		100	
Niger			50
Nigeria	19		81
Sénégal		surtout diesel	
Sierra Leone		97.5	2.5
Togo	5		95
Haute-Volta			

Note: Ces données sont considérées comme suffisamment fiables pour la plupart des pays. - Source: EIA Energy Profiles (Profil de l'énergie)

3.2 CONSOMMATION D'ENERGIE SELON LE SECTEUR

Le secteur le plus grand consommateur d'énergie dans les pays de l'ECOWAS est le secteur résidentiel urbain et rural. Les statistiques relatives à ce secteur sont extrêmement irrégulières, mais on sait que la majorité des ménages consomment le bois de chauffe et le charbon de bois. Dans les régions rurales, la plupart du bois de chauffe est consommé et ramassé par les ménages eux-mêmes. Ce bois sert principalement à la cuisson et à l'éclairage.

Les ménages urbains se situant dans la classe des revenus élevés consomment un fort pourcentage de la consommation totale d'électricité. On sait, tout au plus, que ce pourcentage varie de pays en pays, mais il n'y a pas de statistiques fiables sur l'ensemble de la région.

Plusieurs de ces statistiques sur la consommation d'énergie dans les pays de l'ECOWAS viennent confirmer nos présuppositions. Pourtant, c'est l'exception qui fait la règle: de même qu'il était surprenant d'apprendre que l'agriculture ne constitue plus la plus grande part du Produit Intérieur Brut et que le bois de combustible ne constitue plus la majorité de l'énergie distribuée, nous ne devons pas être surpris par le fait que le Secteur des Transports vient prendre une part importante de la consommation, malgré le peu d'attention qui est prêté à ce secteur.

En effet, d'après les données que nous avons pu recueillir dans 13 pays, la part de pétrole utilisée par le secteur des transports varie de près de 30% en Guinée, à 80% au Cap-Vert. En moyenne, cette part atteint 50%. Aucun autre secteur atteint un pourcentage tellement élevé. Dans les dix pays où des données plus détaillées sont disponibles, la part de la consommation totale de pétrole par l'industrie atteint moins de 7% en moyenne, et celle consommée par par la génération d'électricitéatteint 14% en moyenne.

On affirme souvent, et avec raison, que les transports posent, pour plusieurs raisons bien connues, le problème le plus opiniâtre à résoudre, celui de l'amélioration du rendement énergétique. Il est pourtant important de noter que dans l'ensemble des pays de la CEDEAO,une amélioration de 10% du rendement énergétique des transports résulterait en autant d'économies qu'une amélioration de 33% du rendement énergétique dans l'industrie électrogène utilisant le pétrole, ou qu'une amélioration de 67% en moyenne du rendement énergétique dans l'industrie.

4 FIXATION DES PRIX ET ORGANISMES

4.1 FIXATION DES PRIX

La fixation des prix de l'énergie est une question qui est politiquement et économiquement très délicate. Pourtant, une structure des prix bien équilibrée est fondamentale à la poursuite d'une stratégie à long terme visant à économiser de l'énergie. Les prix sont donneurs de signaux aux producteurs d'énergie et aux consommateurs et exerceront une influence sur leur prise de décisions en matière de rentabilité financière. Ainsi, par exemple, le subventionnement des prix du charbon de bois freinera le développement et la diffusion de fourneaux à charbon ayant un meilleur rendement énergétique. De même, dans plusieurs pays, l'exploitation de gaz naturel sera enrayé, à moins que le prix du pétrole soit maintenu à un prix suffisamment élevé pour permettre au gaz naturel de s'assurer une place dans le marché.

La situation de la fixation des prix dans les pays de la CEDEAO reste un amalgame complexe de politique économique et interventionnelle bien menée.

* Dans un nombre de pays, les prix de l'électricité ne couvrent pas les frais d'exploitation, bien moins les coûts marginaux de la génération d'électricité.

* Fréquemment, des subventions sont accordées aux plus gros consommateurs d'électricité et de fuels de pétrole.

* Malgré tout, la plupart des états membres ont récemment fait augmenter sensiblement les prix de l'énergie pour mieux les mettre à la hauteur des prix du marché mondial. Les réactions aux diminutions récentes du prix mondial du pétrole n'ont pas encore été enregistrées, mais tiendront vraisemblablement une place très importante dans la formulation d'une politique énergétique future.

4.2 ORGANISMES

Dans plusieurs états membres, la responsabilité de la formulation d'une politique énergétique est répartie entre plusieurs agences chargées des affaires énergétiques rurales et forestières, du raffinement du pétrole et de sa distribution, de l'électro-génération, ou de la recherche et du développement, etc., alors qu'aucun mécanisme coordinateur efficace n'est existant.

Récemment, certains pays de la CEDEAO ont, soit crée, soit examiné, la possibilité d'instituer une agence dont la tâche serait de formuler une politique de planification énergétique centralisée. La formule la plus fréquemment adoptée, est la mise en place d'une unité de planification énergétique subordonnée à un ministère chargé de la coordination (tel que le Ministère de la planification) qui est en liaison directe avec un comité consultatif interministériel.

5 - PRIORITES

Les faits, chiffres et moyennes cités dans ce bref exposé ne forment qu'un tableau-sommaire statique de la situation énergétique actuelle. Avant de nous adresser aux priorités énoncées par une politique énergétique, nous devons revenir à l'élément fondamental de l'analyse énergétique, à savoir le lien inéluctable qui existe entre l'énergie et le développement économique, surtout qu'il s'agit de tenir compte des standards de vie du citoyen moyen de la région. Ces préoccupations sont généralement discutées sous deux angles distincts:

* Premièrement, enrayer l'épuisement des ressources naturelles ou financières qui devraient plutôt servir au développement économique. Vu sous cet angle, la plus haute priorité doit être accordée à l'arrêt du déboisement qui menace de façon alarmante tous les pays membres au climat mi-arride, ainsi que ceux dont les régions côtières sont sèches et fortement peuplées. Le déboisement non seulement épuise les ressources de bois propre-

ment dites,mais dépouille la terre de ses fonctions de fixation de nitrogène, de source au cycle nutritif, et de stabilisation du sol. De plus, il élimine une source de fourrage pour les animaux, de bois de construction, de fruits, de médicaments, et d'une multitude d'autres produits forestiers de valeur.

Il faut ajouter que, vu sous cet angle, il est logique de considérer le secteur des transports comme étant responsable en plus grande partie de l'épuisement des ressources et devises étrangères (du point de vue utilisation d'énergie). La pénurie de capital qui en découle fait entrave aux efforts de développement entrepris dans tous les secteurs.

* Deuxièmement, assurer un apport adéquat d'énergie aux activités économiques très prioritaires. Sous cet angle, on perçoit que les politiques énergétiques ont surtout pour but la réalisation d'objectifs économiques, et se préoccupent moins de la résolution des problèmes énergétiques proprement dits. Vu sous cet angle, les pays membres donnent priorité absolue à ce qui est le plus apte à assurer l'approvisionnement d'énergie à l'agriculture, à l'industrie de produits d'exportation, au transport de fournitures essentielles (denrées alimentaires, engrais, pièces de rechange, etc.) et à la satisfaction des besoins fondamentaux humains, en particulier, la santé et les produits de nutrition.

Séparément, ces deux vues en perspectives peuvent dicter des politiques énergétiques très différentes, alors qu'elles ne sont pas forcément en exclusion l'une de l'autre. Dans une certaine mesure, elles se trouvent même en rapport mutuel, comme par exemple l'aménagement du territoire qui arrive à intégrer l'agriculture, l'élevage des troupeaux, et le reboisement.

6 - CONCLUSIONS

Les observations-conclusions suivantes sont énoncées dans le but de pouvoir contribuer à la formulation de stratégies énergétiques pour la région.

Pourtant, de telles conclusions doivent être précédées d'un avertissement qui prévient que bien plus a été laissé en dehors qu'inclus dans l'exposé. C'est avec intention que les questions fondamentales telles que la fixation des prix de l'énergie, la planification énergétique et les organismes de coordination n'ont pas été discutés en plus détaillé, simplement dans le but de présenter ces quelques observations de façon claire et nette. En particulier, une fixation des prix de l'énergie bien soupesée est essentielle pour assurer la réussite des programmes d'investissements dans le domaine économies d'énergie. Les mesures prises à la suite de politiques énergétiques qui seront probablement discutées dans le cadre de ces Journées d'Etudes sur l'Economie d'Energie dans les pays de la CEDEAO,doit absolument tenir compte de cette précondition.

1. Communément, on fait la distinction entre solutions à court et à long terme. Alors qu'une telle distinction a certains mérites, elle conduit souvent en erreur. On note, par exemple, que toutes les solutions "à long terme" sont à vrai dire des options d'exploitation de ressources d'énergie. Il ne faut pas oublier qu'il existe ou qu'il devrait exister des options de politiques énergétiques préconisant l'installation de technologies et de projets

d'énergie également à long terme. Ainsi, par exemple, les technologies peuvent être mises au banc d'essai et développées à court et moyen terme, mais l'adoption au large et la diffusion de technologies nouvelles, viables et meilleures, est évidemment un processus à long terme. De même, un programme d'économies d'énergie ne peut être considéré comme offrant uniquement une solution provisoire ou à court terme. Un programme d'économies d'énergie réussi peut aboutir à une diminution de l'intensité énergétique de façon permanente (à long terme), ce qui permettra alors de libérer des ressources économiques tant nécessitées par le développement économique.

2. Il est bien plus facile et moins coûteux d'influencer la marche future de la consommation énergétique que de changer les habitudes de consommation énergétique existantes (quoique chacune de ces deux activités soient très importantes). Bien moins de place est accordée à l'examen détaillé des effets que les nouveaux investissements dans les secteurs agricole, industriel, et des transports peuvent avoir sur la consommation énergétique, alors que le rapport énergie/bénéfices-économiques reçoit bien plus d'attention. Une bonne planification énergétique appliquée au stade initial d'un projet de développement coûte pratiquement rien.

Au Sénégal, Mali, en Mauritanie, Gambie, et Guinée, par exemple, les projets de l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal et de l'Organisme pour la Mise en Valeur du Fleuve Gambie qui sont des planifications intégrées et multilatérales à grande échelle dont l'objectif est le développement des zones entourant les fleuves Sénégal et Gambie, seront tous deux, semble-t-il, les plus gros consommateurs individuels d'énergie parmi les pays membres. Malgré ces prévisions, seulement des efforts restreints ont été faits pour assurer un bon rendement énergétique.

Au Bénin, la construction envisagée d'une nouvelle cimenterie à Onibbolo ajoutera 10 MW de charge de pointe à un système de génération d'électricité ayant une capacité actuelle de 25 MW. Lorsque cette construction sera achevée, les mesures d'économies d'énergie seront insignifiantes par rapport au capital nécessaire pour la construction de l'usine.

Dans la région il existe de pareils exemples au niveau de la conception de bâtiments, et des véhicules, appareils ou équipements d'importation, etc.

3. Il faut faire une distincion nette entre pays (ou régions à l'intérieur de pays) où sévit le problème grave du déboisement et ceux où ce problème ne se pose pas. Dans presque tous les pays du cas précédent, les ressources forestières diminuent à un taux de progression géométrique à la suite de la demande excessive pour les produits de la forêt et de son terrain. Les arbres vivants sont ainsi abattus, ce qui empire le déséquilibre existant entre offre et demande, et réduit le niveau de produits forestiers récoltables.

Pour ces pays (ou régions), on reconnaît qu'en comparaison avec les secteurs modernes utilisateurs d'énergie, bien plus de ressources et de temps sont nécessaires pour arriver à influencer les habitudes productrices et consommatrices de millions d'habitants utilisateurs de produits forestiers mais ne faisant même pas partie du système économique monétisé.

A travers toute la région ainsi que dans d'autres régions d'Afrique, les efforts entrepris pour diffuser des technologies dans les endroits isolés ruraux ont obtenus des résultats mixtes. Même des programmes relativement réussis, tels que les fours à cuisson de Ban Auk Souf au Sénégal doivent, pour

devenir une réussite complète, venir prouver dans la décennie à venir, que la plupart de la population visée a été atteinte.

4. Finalement, la capacité humaine et financière dont disposent les gouvernements de la région pour permettre la mise en application et la diffusion des systèmes énergétiques en guise de solution, est extrêmement limitée, bien plus limitée que dans d'autres parties du monde. Il en découle que bien plus d'attention devra être accordée aux options énergétiques que les usagers considéreront être à un prix intéressant et qui leur permettront d'augmenter leurs revenus disponibles sans grands risques. Ceci revient à dire que les solutions énergétiques que nous proposons doivent être suffissamment attrayantes au secteur privé (et pas seulement gouvernemental) afin que, dans son propre intérêt, le privé veuille bien les adopter, les utiliser, les maintenir, et les diffuser.

2.2 L'IMPORTANCE DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

David J. Jhirad

I. INTRODUCTION

Un grand nombre de pays en développment ont été fortement atteints par la montée des prix de l'énergie durant les années 1970, ce qui a incité les planificateurs de ces pays à chercher des méthodes et des technologies capables de réduire les coûts de l'énergie nécessaires pour la production industrielle, tout en maintenant la croissance économique et en améliorant la balance des paiements.

Plusieurs pays en développement se sont ainsi engagés à suivre des stratégies qui consistent à augmenter la production domestique des combustibles conventionnels, à élargir l'implantation de centrales hydro-électriques et nucléaires, à améliorer l'efficacité de l'utilisation pétrolière par les secteurs de l'industrie et du transport, et à développer les technologies utilisant des sources d'énergie renouvelable. Actuellement, une considération plus attentionnée est donnée à une approche qui préconise une balance plus équilibrée entre les investissements dans l'approvisionnement d'énergie et entre ceux dans le domaine économie d'énergie.

Il est toutefois à noter que d'après l'expérience acquise par la Banque Mondiale au cours ds dernières années, peu de pays en développement on prêté suffisamment d'importance aux stratégies d'efficacité énergétique et de régulation des charges, en dépit du fait que les investissements dans l'efficacité énergétique sont très intéressants par rapport aux investissements dans le réapprovisionnement; de telles stratégies résultent souvent en des économies d'énergie considérables dans un délai de temps relativement court.[1]

Le manque d'enthousiasme populaire suscité par l'expression "économies d'énergie" provient probablement de l'association d'idées entre économies d'énergie et austérité, ou entre économies d'énergie et techniques anciennes qui ne tiennent pas compte des conceptions technologiques et économiques modernes où l'accent est mis sur l'amélioration de l'efficacité des dispositifs et procédés de conversion d'énergie. Dans cette étude, les expressions "économies d'énergie" et "efficacité énergétique" sont utilisées interchangeablement afin d'attirer l'attention sur le fait que l'utilisation plus efficace de l'énergie peut être intéressante des points de vue technologique et économique.

Cette étude présente un nombre de résultats obtenus à partir de travaux actuellement en cours au Brookhaven National Laboratory se portant sur l'aspect économique et sur le potentiel d'utilisation de l'efficacité énergétique et de la substitution dans les pays en développement.[2,3] En particulier, l'accent est mis, dans cette étude, sur les économies d'énergie dans le secteur industriel. L'analyse financière d'une technologie particulière, à savoir les pompes à chaleur industrielles, est présentée en détail pour un pays en développement, en l'occurrence le Brésil; d'après cette analyse, on peut voir à quel point les encouragements financiers gouvernementaux ont suscité de l'intérêt parmi les investisseurs en efficacité énergétique.

Des études effectuées dans les pays industrialisés ont donné lieu à des conclusions définitives des points de vue économique et technologique. D'après ces conclusions, l'énergie peut être utilisée plus efficacement dans tous les secteurs de l'économie nationale. Une étude-type a fait ressortir que 25%, en moyenne, d'énergie utilisée pourrait être économisée dans le secteur de la fabrication aux Etats-Unis en ayant recours à des mesures dont les dépenses d'investissement et de maintenance sont inférieures à celles nécessitées pour produire un réapprovisionnement d'énergie en quantité équivalente.[4] Le potentiel d'utilisation des techniques à haute efficacité énergétique varie considérablement selon les industries, et les économies d'énergie réalisées par un mélange optimalisé de charbon, de gaz naturel, et d'électricité varient tout autant selon les industries.

Il existe une conception technologique simple mais puissante qui s'est avérée être un élément essentiel de toutes les options énergétiques à court et à long terme, notamment: toute planification énergétique financièrement et économiquement raisonnée doit contenir l'élément essentiel qu'est le développement agressif et l'implantation de technologies utilisant l'énergie efficacement. Des recherches effectuées et l'expérience acquise dans les pays industrialisés ont indiqué que les technologies utilisant l'énergie plus efficacement pourraient jouer un rôle d'importance primordiale dans l'amélioration de la productivité industrielle et par là, maintenir la croissance économique des années 1980 et 1990, tout en étant moins coûteuses et moins endommageantes à l'environnement que ne le seraient les stratégies énergétiques nationales orientées uniquement vers le réapprovisionnement d'énergie. Par surcroît, le temps relativement court nécessité par l'installation de mesures d'efficacité énergétique permet d'atteindre des résultats en peu de temps et de s'adapter à tous les changements imprévus au niveau de la demande d'énergie.

Des leçons importantes ont été tirées tant dans les pays développés que dans ceux en développement, sur l'influence que les divers modes de fixation ou de non-fixation des prix a exercé sur la demande d'énergie; ces expériences acquises forment ainsi un potentiel considérable de transfert vers les pays se trouvant dans les stades initiaux d'une stratégie d'efficacité énergétique.

Quoiqu'un grand nombre de technologies à haute efficacité énergétique soit, du point de vue des coûts, compétitif avec l'énergie de réapprovisionnement, il existe toujours encore dans les pays en développement de grands obstacles à l'acheminement de capitaux vers ces technologies. Parmi ces obstacles, il faut citer:

* La disponibilité limitée de capitaux à investir dans les technologies et systèmes à efficacité énergétique.

* Une politique gouvernementale de fixation des prix où le prix moyen de l'énergie au niveau de la consommation industrielle est considérablement inférieur à celui de l'énergie qui doit être réapprovisionnée à des prix montant en flèche.

* Le fait qu'un grand nombre de fabricants exigent une rentabilité élevée de leurs investissements en efficacité énergétique par rapport aux investissements non-énergétiques qui sont pourtant si nécessaires pour maintenir la compétitivité de leur produit sur le marché.

* Un régime de lois et de règlements empêchant les fabricants de produire de l'électricité comme sous-produit.

Les gouvernements devraient préconiser une politique qui élimine ces obstacles et incite aux investissements dans la technique d'économies d'énergie; cette politique d'encouragement devrait être fondée sur des critères appropriés, à l'usage des dirigeants des secteurs public et privé, et devrait également se baser sur de soigneux calculs de coût/bénéfice sur les plans micro- et macro-économique.

Cette catégorie d'encouragements pourraient comprendre:

* Des prêts à taux d'intérêts réduits pour l'achat d'équipement énergétiquement efficace et réduction des taxes à l'importation d'un tel équipement.

* Modification de la politique de fixation des prix tel que: réduction ou élimination des subventions pour les combustibles utilisés par l'industrie.

* Remaniement de la politique fiscale, tel que: impôts supplémentaires sur les combustibles utilisés peu efficacement, ou allègements d'impôts pour l'installation d'équipement plus efficace.

* Règlementation visant à atteindre des objectifs de productivité énergétique et la conformité aux normes des chauffe-eau ou d'autres unités d'équipement.

* Octroi de permis pour produire de l'électricité sur place, de s'approvisionner avec de l'énergie électrique de réserve, et de vendre au réseau de l'énergie électrique excédante à des prix raisonnables.

Les politiques gouvernementales devraient être conçues de façon à améliorer l'efficacité énergétique industrielle et à encourager les cadres planificateurs du secteur privé à investir dans des projets d'économie d'énergie dont bénéficiera tout le pays. Ces politiques doivent être délicatement intégrées dans un programme d'ensemble national en vue d'accroître la productivité industrielle et d'atteindre d'importants objectifs nationaux tels que l'équité, une balance de paiements plus favorable, et augmentation de la croissance économique, et par là, augmentation du nombre d'emplois.

REFERENCES

1. Harold Wackman. "Energy Efficiency in the Developing Countries" (Efficacité énergétique dans les pays en développement), article presenté devant le United Nations ACC Technical Group Meeting on Energy Conservation (Réunion du groupe technique des Nations Unies ACC sur les économies d'énergie), New York, 13-15 déc. 1982.

2. David J. Jhirad & William Rutter. "Renewable Energy in Brazil: Opportunities, Barriers, and Remedies," (Energie renouvelable au Brésil: possibilités, obstacles, et remèdes), Brookhaven National Laboratory, BNL 51527, mars 1982.

3. G. Anandalingam & David Jhirad. "Analytical Tools for Techno-economic Assessments of Industrial Energy Efficiency in Developping Countries," (Outils analytiques pour l'évaluation de l'efficacité énergétique industrielle dans les pays en développement), Brookhaven National Laboratory, Informal Report, août 1982.

4. G.N. Hatsopoulos, E.P. Gyftopoulos, R.W. Sant, & T.F. Widmer. "Capital Investment to Save Energy," (Investissement de capital pour économiser de l'énergie) Harvard Business Review, mars-avril 1978.

2. EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT: POTENTIEL TECHNIQUE ET ECONOMIQUE

2.1. PROFIL DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE

L'utilisation d'énergie commerciale dans les industries grosses consommatrices d'énergie dans les pays en développement a été discutée ailleurs,[1,2] et les propos qui suivent ne sont qu'un bref tableau-sommaire des types divers de consommation dans les pays en développement,

L'ampleur relative de la consommation d'énergie dans les divers secteurs de l'économie depend en grande partie des structures économiques, du développement technique, et du mélange des divers combustibles. Par surcroît, la consommation relative de la quantité d'énergie utilisée par chaque secteur est différente selon la définition donnée au terme "énergie", c.à.d. si on ne considère que l'énergie commerciale, ou toutes les autres formes d'énergie, y compris les combustibles traditionnels comme le bois de feu ou le fumier séché. Dans le cas où les combustibles traditionnels ne sont pas pris en considération, ce sont les secteurs de l'industrie des centrales électriques et du transport qui sont les gros consommateurs d'énergie. Le secteur industriel est capable de consommer de 25% à plus de 70% d'énergie commerciale dans les pays en développement. Aux Indes, par example, l'industrie consomme plus de 75% du combustible commercial.

Typiquement, les cinq ou six plus grandes industries des pays en développement consomment 70% de l'énergie industrielle consommée au total. Les principaux consommateurs d'énergie sont les cimenteries, la sidérurgie, l'aluminium, et les industries chimiques et d'engrais, de pâte à papier, et les mines.

Plusieurs méthodes peuvent mesurer l'intensité d'utilisation d'énergie à l'échelle nationale, ou à celle des bâtiments, des industries, des transports et des centrales électriques. Pour ce mesurage, on se sert communément de l'étalon quelque peu rudimentaire qu'est la quantité d'énergie consommée en tonnes équivalent pétrole (tep) par unité de produit intérieur brut.

Un meilleur indice pour la mesure de l'énergie consommée est le rapport entre l'énergie consommée (mesurée en MJ ou en kilocalories) et le niveau d'activités d'un secteur donné (par tonnes de production industrielle ou agricole, par passager au km, par km de transport, par surface résidentielle ou commerciale). Le tableau 2.1 représente la consommation spécifique d'énergie par tonne métrique de produit pour plusieurs pays développés ou en développement. Le tableau 2.2. indique en particulier l'intensité de l'utilisation d'énergie par la branche productrice de ciment et d'acier dans divers pays.

Tableau 2.1
Consommation spécifique d'énergie par tonne métrique de produit
(10^4 kcal)

	Pâte à papier	Ciment		Aluminium	Engrais
		Sec	Humide		
Etats-Unis	970	136	170	947	1132
Suède	756	140		1648	--
Royaume Uni d'Angleterre	--	89	160	2107	1223
Allemagne Fédérale	--	74-90	120-140	1492	--
Egypte	--	162		2120	1625
Inde	--	170		--	1700
Bangla Desh	1566	170		--	--
Kenya	1285	134		--	--

Source: J. Jankowski, Jr., Resources for the Future (Ressources pour le futur), Discussion Paper D-73A.

Tableau 2.2
Tableau comparitif de l'intensité d'utilisation d'énergie
par quelques pays --- 1979 à 1981
(kg équivalent charbon par tonne de produit)

	Acier brut	Clinkers de ciment
Japon	650	125
U.S.A.	890	215
Brésil	920	150
Inde	1400	215
Chine	1260	206

Tableau 2.3
Pays en développement: Possibilités d'économies dans les principales industries grosses consommatrices d'énergie, dans les années 80

	% Production mondiale des PVD, 1978	Consommation énergie par tonne de prod.[a]	Economies potentielles des usines actuelles (niveaux de production de 1978)	
			%	mille barils/j[b]
Aluminium (à partir d'alumine)	8,1	28-36	5-10	5-12
Cuivre (fondu & raffiné)	22,3	3-8	5-10	1-4
Acier (brut)	8,1	4-6	5-10	35-90
Ciment (clinkers)	27,4	0,5-1,0 (combustible)	15-25	60-170
		0,2-0,3 (électricité)	5-10	7-15
Ammoniaque	15,1	6-8	5-15	10-40
Raffinage de pétrole				
distillation	11,6	0,4	10-20	35-70
craquage	6,9	0,7	10-20	7-15
Pâte à papier	11,8	4-8	20-25	35-95

[a] Exprimés en barils équivalent pétrole, en supposant que la production de 1 kWh d'électricité exige 2670 kcal (10 600 Btu) de chaleur. Ce facteur de conversion peut fortement varier selon le type d'énergie primaire, les pertes de transmission, etc.

[b] barils/jour équivalent pétrole

Source: "Energy in the Developing Countries" (Energie dans les pays en développement) World Bank, 1980

2.2 APPLICABILITE DE L'EXPERIENCE ACQUISE DANS LES PAYS INDUSTRIALISES

D'après les résultats obtenus par le Programme U.S.A. sur l'Efficacité Energétique Industrielle, les dix industries utilisant le plus d'énergie ont, en 1976, 1977, et 1978, amélioré leur efficacité énergétique de 8%, de 11%, et de 14% respectivement, par rapport aux niveaux de 1972 (mesuré en consommation énergétique par unité de production). Les économies résultant de cette efficacité énergétique ont été réalisées à partir de mesures à court terme qui n'exigent que de modestes dépenses initiales, et dont le temps de récupération n'était que de quelques semaines ou de quelques mois. De telles améliorations ont également été effectuées dans d'autres pays industrialisés. Par example, la consommation d'énergie pour une tonne

d'acier produit en Allemagne Fédérale et au Japon a diminué de près de 7% et de 14% presectivement dans la période allant de 1945 à 1979, et la consommation d'énergie pour une tonne de ciment produit a diminué de près de 5% et 10% en Allemagne Fédérale et au Japon pendant cette même période.

Parmi les initiatives à succès qui ont été prises pour promouvoir l'efficacité énergétique dans les pays industrialisés, il convient de citer les suivants:

* Prêter de l'assistance financière aux investissements dans les technologies à haute efficacité énergétique des industries à petite, moyenne, et grande échelle, sous forme de prêts à taux d'intérêts réduits. Des initiatives gouvernementales facilitant la fabrication ou l'importation d'équipement d'économie d'énergie devraient également être prises. Celles-ci pourraient se porter sur des allègements d'impôts, une politique d'importation, et des arrangements spéciaux pour l'obtention de licences.

* Modifications de la politique de règlementation qui incite à la fabrication et à l'installation d'équipement à haute efficacité énergétique visant en particulier les appareils ménagers, les automobiles, et l'adoption de systèmes de cogénération.

* Etablir un régime fiscal qui encourage les activités à haute efficacité énergétique au niveau des entreprises industrielles et commerciales.

* Fournir de l'assistance technique et des programmes de formation en comptabilité énergétique dans l'industrie, les bâtiments, le secteur centrales électriques, et le transport. Des comptes énergétiques détaillés devraient être tenus dans les industries-clefs grosses consommatrices d'énergie où les coûts énergétiques s'élèvent à 20 - 50% des coûts totaux de production.

* Promouvoir une politique rationale de fixation des prix à l'adresse des utilisateurs industriels.

2.3 ANALYSE ECONOMIQUE ET FINANCIERE DES INVESTISSEMENTS DANS LES SYSTEMES A HAUTE EFFICACITE ENERGETIQUE

Cette section donne un bref aperçu sur les moyens d'analyse et de planification disponibles pour effectuer les analyses financières et économiques se rapportant aux investissements dans la technologie d'économies d'énergie au niveau des pays en développement (pour une discussion plus suivie, voir réf. 1.3)*

Il incombe aux gouvernements des pays en développement d'étudier de près l'intérêt qu'ont suscité les encouragements gouvernementaux parmi tels ou tels investisseurs, l'effet que ces investissements on eu sur l'utilisa-

---

* Article supplémentaire, Séminaire d'Afrique Occidentale.

tion d'énergie industrielle, et l'impact que ce changement d'utilisation d'énergie industrielle a crée sur la croissance économique, sur la balance des paiements, et sur l'inflation.

Une méthode pour l'analyse des investissements dans le domaine des économies d'énergie sur un plan national peut se faire par la méthode des "prix d'ombre"** . Les prix d'ombre permettent de déterminer les coûts marginaux supplémentaires qu'entraînent les divers facteurs de production lorsque placés dans le contexte des objectifs nationaux. Ainsi, par example, l'importation de moyens de production crée, pour la plupart des pays en développement, des contraintes sur la croissance économique, et tout ce qui vient réduire les réserves de devises étrangères aura pour effet de ralentir la croissance économique. Or, la croissance étant un objectif essentiel, le prix d'ombre du pétrole devrait être supérieur à celui du marché mondial; les analyses effectuées par les gouvernements pour pouvoir comparer les diverses options d'investissements devraient tenir compte de ces prix d'ombre. A l'encontre de cette méthode, les décisions d'ordre industriel se font lorsqu'il s'agit d'estimer si tel ou tel investissement est intéressant, en se basant sur des critères fincanciers, à savoir le taux de rentabilité interne.

Plusieurs facteurs économiques et financiers viennent s'unir pour déterminer la faisabilité financière ou l'attrait économique d'un investissement dans les technologies à efficacité énergétique. Bien entendu, il y a souvent un écart considérable entre ce que les entreprises privées considèrent comme intéressant et ce qui est dans l'intérêt national du pays.

Dans les entreprises industrielles, les décisions d'investissements sont prises après avoir comparé le coût d'un projet d'investissement, les bénéfices prévus (cash-flow annuel), et le prix des capitaux. Le prix des capitaux peut être considéré comme étant soit le taux d'intérêt que l'investisseur paie pour le prêt, soit le taux de rendement auquel s'attend l'investisseur sur l'équité du projet en question. Le degré du risque aura un effet sur le prix des capitaux; les projets à grands risques résulteront en un prix du capital élevé.

Des méthodes couramment utilisées dans les exposés d'ingénierie permettent d'évaluer du point de vue économique et d'ingénierie, les investissements dans le domaine des économies d'énergie (ex.: Gyftopolous, Widmer,[2.1]). Celles-ci comprennent le taux de rentabilité interne et le temps de récupération brut. Une autre méthode courante utilisée dans les exposés économiques est celle de la valeur en monnaie actuelle des réalisations net futures. Or, le taux de rentabilité interne, le temps de récupération brut, et la valeur en monnaie actuelle des réalisations net futures sont tous trois liés entre eux. La majorité des investisseurs du secteur privé préfèrent les critères du temps de récupération brut et du taux de rentabilité interne, alors que les planificateurs du secteur public dont la perspective est à longue vue, optent pour le critère valeur en monnaie actuelle des réalisations net futures.

** UNIDO, Guide to Practical Project Appraisal (Guide de l'évaluation des projets pratiques), U.S.A., New York, 1978.

Lorsque l'investissement est analysé du point de vue du gouvernement, les coûts et bénéfices sociaux doivent être pris en considération. Dans ce cas, les bénéfices sont mesurés en équivalent de combustible économisé calculé au prix d'ombre, une prime étant ajoutée au prix d'achat du combustible. Les coûts occasionnés au gouvernement par la mise en oeuvre de mesures d'encouragement sont estimés en calculant la différence entre le coût des investissements utilisant de l'équipement d'économies d'énergie et le coût des investissements qui n'en utilisent pas.

D'autres facteurs qu'un planificateur gouvernemental devrait considérer sont les bénéfices et coûts indirects: ceux-ci comprendraient l'impact qu'ont eu les investissements en économies d'énergie sur l'ensemble de la consommation, sur l'emploi, la balance des paiements, et la croissance économique; l'impact sur les tranches de population les plus défavorisées économiquement devrait également être considéré. Des méthodes pour calculer ces effets sont exposées en détail dans d'autres articles.[2-4]

La priorité accordée par un gouvernement à une stratégie d'encouragement devrait refléter les résultats obtenus par l'analyse du coût-bénéfice sur le plan social. Le gouvernement devrait créer des programmes d'encouragement qui tiennent compte des critères d'investissement employés par le secteur privé afin que les sociétés privées investissent dans les économies d'énergie, ce qui est dans l'intérêt du pays sur le plan social.

Lorsque les coûts et bénéfices des économies d'énergie sont évalués sous un angle national, il est important d'obtenir toutes les informations sur les coûts occasionnés par les économies d'énergie, ainsi que sur les coûts d'approvisionnement d'une quantité d'énergie équivalente à l'énergie économisée. Les données indiquées ci-après ne se rapportent qu'au secteur industriel; elles proviennent d'études effectuées aux U.S.A. et au Canada. De telles données devraient également être compilées à l'usage des pays en développement et devraient comprendre les divers secteurs consommateurs d'énergie, à savoir le transport, les producteurs-distributeurs d'électricité, et les bâtiments résidentiels et commerciaux.

En général, les coûts des investissements de capitaux dans le domaine des économies d'énergie (jusqu'à une certaine limite) sont considérablement inférieurs à ceux que coûterait l'équivalent en énergie qui devrait être fournie. Plusieurs études ont pu montrer,[1,5,6] que les améliorations de l'efficacité énergétique aboutissent à une économie d'énergie de près de 25% pour toute l'industrie de fabrication aux Etats-Unis et au Canada. Un total de 39 projets d'économies d'énergie dans cinq secteurs industriels spécialement sélectionnés ont fait l'objet d'une étude dont les résultats ont servi de base à la détermination de l'économie financière dans le domaine des économies d'énergie industrielle. Les projets étaient classés selon quatre catégories de mesures permettant de réaliser des économies d'énergie. Ces catégories et industries sont les suivantes:

Catégories

A. Isolation et gérance "ménagère"
B. Récupération des pertes de chaleur
C. Instrumentation et régulation
D. Changement de procédé

Type d'industries

1. Alimentation & boissons, surtout viandes & volailles
2. Pâte à papier
3. Aciéries et usines sidérurgiques
4. Industrie des minéraux, en particulier cimenteries
5. Industrie chimique, surtout produits industriels

L'application de ces projets d'économies d'énergie a résulté en des économies se chiffrant à 16% de l'énergie exigée par ces cinq types d'industries.

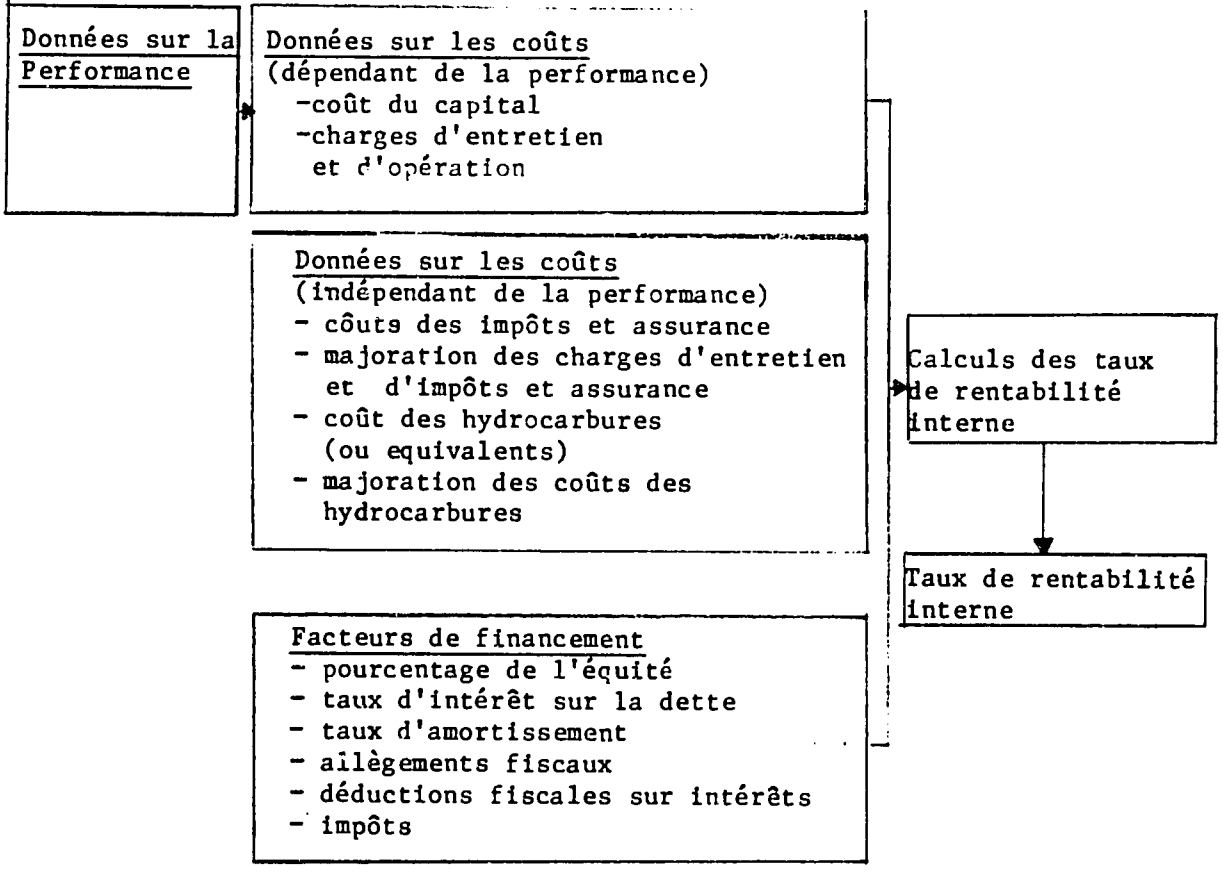


Fig. 2.1. Détermination du taux de rentabilité interne pour un investissement en équipement à haute efficacité énergétique.

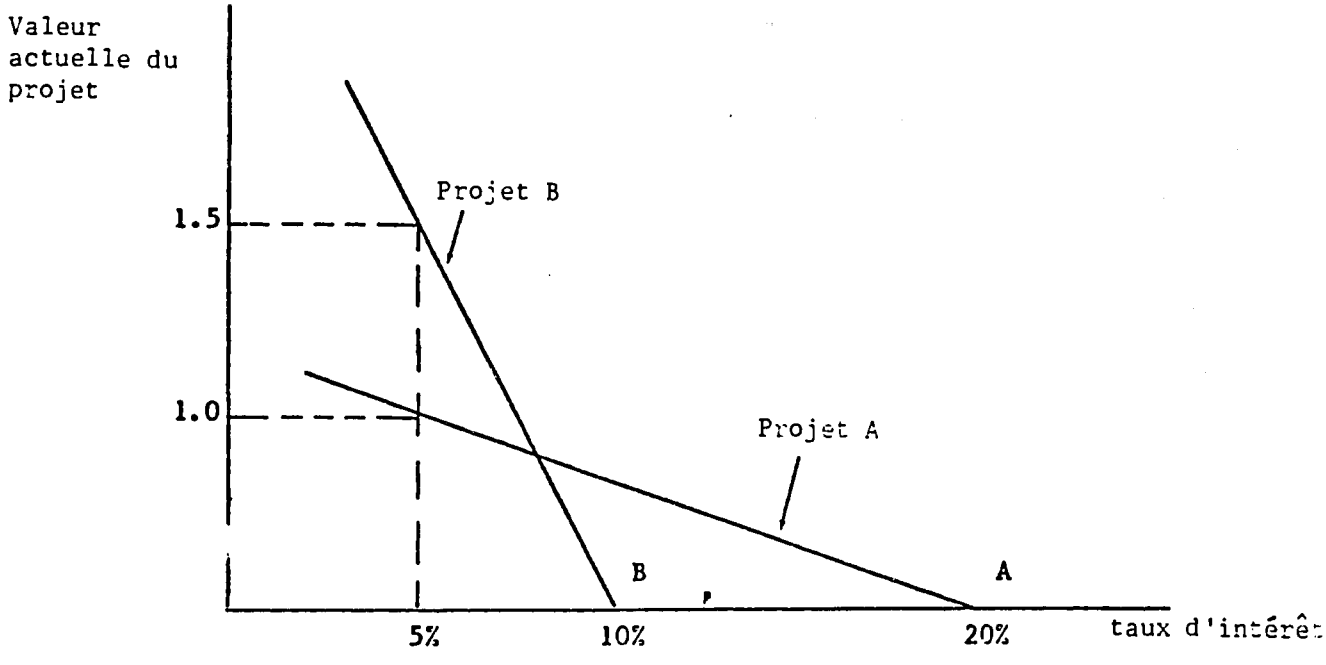


Fig. 2.2. Discordance entre la valeur en monnaie actuelle des réalisations net futures et taux de rentabilité interne

Le coût des projets individuels d'économies d'énergie étaient de $0.02 - $3.57 par million de Btu économisés. La valeur moyenne de l'énergie économisée dans ces 39 projets était, sur une période d'un an, de $1.58 par million de Btu, ce qui correspond à $9.16 par baril équivalent pétrole. Il est à noter que d'après le Département canadien de la conservation d'énergie industrielle (the Canadian Industry Energy Conservation Task Force), plus de 23% de l'intensité d'utilisation énergétique ont pu être réduits dans une période de 5 ans. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus aux Etats-Unis.[5]

Le graphique des coûts marginaux et moyens se rapportant aux 39 projets d'économie d'énergie exécutés dans ces industries est presenté dans la figure 2.2.

En examinant la figure 2.3, il faut tenir compte de ce qui suit:

* les coûts des projets de fourniture d'énergie

correspondent aux prévisions du gouvernement canadien pour la période 1980 - 2010. Il est évident que plusieurs pays en développement pourront bien produire de l'énergie excédente à partir de gisements de pétrole et de gaz naturel à un prix compétitif avec celui des investissements en économies d'énergie. Par contre, quelques options tels que les schistes bitumeux ou la liquéfaction du charbon produiraient de l'énergie à des coûts bien plus élevés que ceux des projets traités.

* L'étude canadienne compare le nombre de "Btu fournis" et ne prend pas en considération les installations au niveau de l'utilisateur d'énergie. L'étude ne fait pas de distinction entre les différentes formes d'énergie qui sont économisées par chaque projet, que ce soit le gaz naturel, le fuel oil lourd, etc.

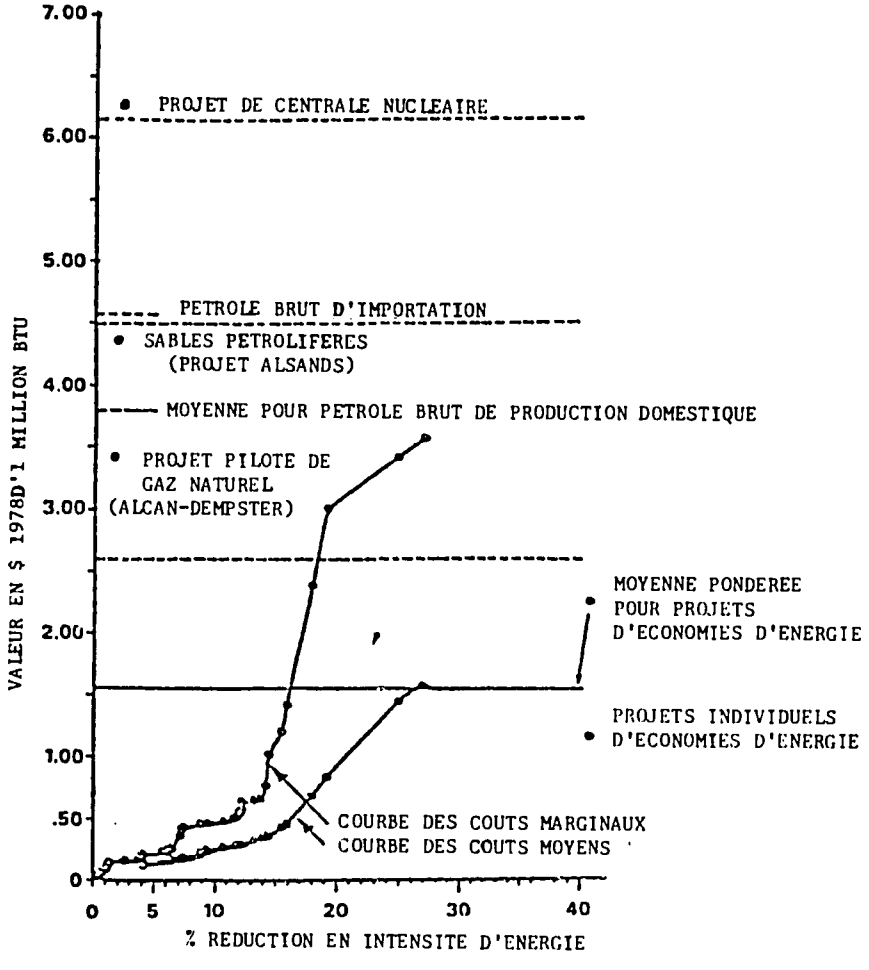


Figure 2.3

* La comparaison quantitative entre les bénéfices réalisés par les projets d'économie d'énergie et la fourniture est évidemment très compliquée et ne fut pas exécutée dans l'étude canadienne.

Les projets d'économies d'énergie dans l'industrie font état d'une grande amplitude d'économies en coûts et en énergie, mais pour les pays en développement, il est raisonnable de s'attendre à un potentiel d'économies d'énergie de 25% en moyenne. Il va de soi que des études plus détaillées d'ordre économique et d'ingénierie seront nécessaires pour quantifier les coûts et bénéfices des projets d'économies d'énergie en comparaison avec les coûts et bénéfices de l'exploitation de nouvelles sources d'énergie. De telles comparaisons devront tenir compte d'éléments tels que les occasions propices aux investissements, de la vitesse de mise en oeuvre des divers projets, du taux de l'emploi, de la formation technique, du taux de la mise en action relative, de la situation au marché des changes, et des effets sur l'environnement et la santé.

REFERENCES

1. E.P. Gyftopolous and T.F. Widmer, "Benefit-Cost of Energy Conservation" (Coûts et bénéfices des économies d'énergie) dans Thermodynamics: Second Law Analysis, American Chemical Society, 1980.

2. United Nations Industrial Development Organization. Guidelines for Project Evaluation, (Directives pour l'évaluation de projets), Nations Unies, New York, 1972.

3. United Nations Industrial Development Organization. Guide to Practical Project Appraisal (Guide pratique pour l'appréciation d'un projet), Nations Unies, New York, 1978.

4. I.M.D. Little and J.A. Mirrlees. Project Appraisal and Planning for Developing countries, Heinemann Educational Books, London, 1974.

5. G.N. Hatsopoulos, E.P. Gyftopolous, R.W. Sant, and T.F. Widmer. "Capital Investment to Save Energy" (Investissements de capitaux pour économiser l'énergie), Harvard Business Review, Vol. 56, No. 2, March-April 1978.

6. Report by Acres Consulting Services Limited. "A Study of the Potential for Energy Conservation in Canadian Industry" (Etude du potentiel d'économies d'énergie dans l'industrie canadienne), Conservation and Renewable Energy Branch, Energy, Mines and Resources Canada, December 1979.

3. TECHNOLOGIES UTILISANT L'ENERGIE DES DECHETS THERMIQUES DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

Il existe actuellement tout un éventail de technologies à coûts efficaces qui se sont distinguées du point de vue des économies d'énergie. Ces technologies ont trouvé des applications dans tous les secteurs utilisateurs d'énergie à tous les niveaux. Dans ces propos, nous ne citerons que les technologies qui peuvent être appliquées au secteur industriel. D'excellentes études peuvent être trouvées dans les références 1 & 2.

Il incombe aux technologies d'économies d'énergie de s'adresser aux sources d'inefficacité énergétique dans l'industrie, en particulier à

* la combustion de fuel-oil de haute qualité pour les procédés industriels utilisant de la chaleur à basse température,

* les pertes de chaleur de haute qualité provenant des déchets thermiques éliminés dans l'environnement,

* l'utilisation de certains procédés de fabrication.

Les deux premières sources d'inefficacité énergétique sont communes à un grand nombre d'industries et de procédés et peuvent être amoindries à l'aide de technologies qui peuvent être appliquées dans la plupart des cas. Ces inefficacités se rencontrent au niveau des séchoirs, des chaudières, fourneaux, des fours (pour briques, ciment, céramique, etc.), et autres fours utilisant du mazout, et peuvent être réduites par moyen de récupération des déchets de chaleur et de leur recyclement. Les bonnes mesures de gestion "ménagère", telles que l'isolation des tuyaux s'adressent surtout à la deuxième source d'inefficacité énergétique.

La méthode conventionnelle qui consiste à faire monter la vapeur à l'intérieur des chaudières chauffées au mazout est peu efficace, car on obtient de la vapeur à basse température (de 65 à 80°C, 344 à 1034 kPa), alors que la combustion du mazout crée de la chaleur à haute température. Pour réaliser des économies plus importantes, il faut mieux pouvoir utiliser la température élevée ainsi créee, ce qui est possible avec les systèmes de cogénération ou de génération de vapeur et d'électricité en succession.

Les procédés utilisés dans la fabrication de métaux, de céramiques, de verre, et de ciment exigent des températures très élevées, souvent supérieures à 590°C. Les pertes sont dues à l'insuffisance d'isolation, au fait que l'énergie de haute qualité se dissipe sous forme de gaz d'échappement, ou aux fuites de matériaux chauds sortant des fourneaux. Pour restreindre ces pertes, il existe des technologies qui peuvent, entre autres, assurer une meilleure isolation et le recyclement des gaz d'échappement pour chauffer l'air à nouveau; parmi d'autres technologies de ce type, il faut en citer quelques autres: la récupération de matériaux sortant des fourneaux à l'état chaud pour le préchauffement des matériaux qui vont entrer dans le fourneau, l'utilisation de la chaleur d'échappement pour

faire monter la vapeur ou pour obtenir de la chaleur à être utilisée par les procédés industriels, et la cogénération d'électricité à partir de chaleur d'échappement.

Les investissements de capitaux pour la mise en oeuvre de mesures d'efficacité énergétique peuvent être groupés, par ordre croissant de capital nécessaire, de la façon suivante:

* **Bonnes mesures de gérance ménagère:** l'amélioration de l'efficacité des procédés et de l'équipement d'opération.

* **Remplacement d'équipement:** l'apport à l'usine ou à l'équipement de modifications relativement simples exige un minimum d'investissement de capital. Ainsi, il convient de citer l'amélioration des réservoirs et tuyaux calorifuges ainsi que l'installation d'instruments pour obtenir une meilleure régulation des procédés de fabrication.

* **Remplacement d'équipement à grande échelle et technologie nouvelle:** remplacement et modifications à grande envergure d'équipement exigeant des investissements de capital considérables. Parmi ces mesures: les technologies et systèmes d'efficacité énergétique tels que les systèmes de récupération de déchets de chaleur, les pompes à chaleur, et la cogénération; les modifications de grande envergure au niveau des procédés.

Les technologies et mesures permettant l'amélioration de l'efficacité énergétique à usages commercial et industriel peuvent être groupées comme suit:

* Récupération des pertes de chaleur.

* Améliorations des procédés utilisant la chaleur.

* La cogénération.

* Moteurs à induction pour courant alternatif/ régulateurs

* Substitution du type de combustible.

* Meilleure gestion des aspects énergétiques au niveau des bâtiments industriels et commerciaux.

* Procédés de fabrication sophistiqués tenant compte des économies d'énergie et de substitution de matériaux.

Les quatre premières catégories sont détaillées dans les tableaux récapitulatifs 3.1, 3.2, 3.3, et 3.4.

Tableau 3.1
Récupération de la chaleur perdue

Technologie	Applications	Disponibilité
Echangeurs de chaleur à basse température de type avancé	Récupération de la chaleur provenant de sources qui n'ont pu être exploitées jusqu'alors	Dans le commerce; temps de récupération des investissements de moins de deux ans
Pompes à chaleur pour la récupération des pertes de chaleur	Chauffage des eaux ou liquides pour procédés de fabrication à partir des pertes de chaleur à basse température provenant de l'équipement réfrigérateur, des climatiseurs, des liquides effluant des procédés industriels ou du traitement des eaux d'égout	Dans le commerce; temps de récupération des investissements de 6 mois à deux ans
Récupérateurs de chaleur métalliques et tuyauterie à température moyenne	Récupération de l'énergie provenant du gaz de carneau des chaudières à température jusqu'à 280°C pour le chauffage de l'eau alimentant les chaudières et de l'air alimentant les chambres à combustion, ou autres charges	Ds.le commerce; temps de récupération des investissements en général de moins de trois ans
Récupérateur de la chaleur en matrice ou tube de céramique	Récupération de la chaleur à haute température émise par les fours de fusion, les fours de calcination, les fonderies, les hauts-fourneaux, fours à réduction, et fours de traitement thermique	Commercialisé sous peu. Projets de démonstration dans divers endroits aux Etats-Unis

Tableau 3.2
Amélioration des procédés thermiques

Technologie	Applications	Disponibilité
Systèmes de régulation de la combustion basés sur des ordinateurs pour chaudières ou fourneaux, et régulateurs de procédés	Convient aux grandes chaudières industrielles, hauts fourneaux et cogénérateurs pour maximaliser l'efficacité et minimaliser la pollution	Dans le commerce; bénéfices variables selon type d'installation. Grâce à des régulateurs de procédés peu coûteux, les pertes d'énergie sont réduites dans presque tous les procédés industriels
Isolation de haute performance pour fourneaux/chaudières	Réduit les pertes de chaleur et le temps mort de l'équipement	Dans le commerce; court temps de récupération des investissemnts
Améliorateurs de l'atmosphère, chauffage par induction, hauts fourneaux	Réduit la quantité d'énergie consommée par l'équipement des procédés à haute température	Dans le commerce; les économies de carburant dépendent du type d'équipement

Tableau 3.3
Moteurs électriques à induction pour courant alternatif et leurs régulateurs

Technique	Applications	Disponibilité
Moteurs conventionnels à noyaux et bobinage élargis, et isolation électrique améliorée	Réduction de la résistance interne du moteur. Moteur à recommander pour les applications à grande puissance	Dans le commerce; longévité accrue du moteur et coûts opérationnels plus faibles en comparaison avec les moteurs conventionnels
Régulation du facteur de puissance pour ajustement aux charges et régulation des vitesses	Convient aux services intermittants ou aux moteurs électriques à faible facteur d'utilisation	Dans le commerce; économies de 25 à 50% des coûts de l'énergie utilisée par le moteur
Bobinage triphasé du moteur	Convient aux services intermittants ou aux moteurs électriques à faible facteur d'utilisation	Disponible dans le commerce sous forme de moteur neuf ou de rembobinage d'un moteur existant; économies de 66-75%, temps de récupération de 4 mois à 3 ans
Remplacement de l'interrupteur mécanique de lancement du moteur par un triac (régulateur état solide)	Amélioration des moteurs à induction monophasés	Dans le commerce; fiabilité accrue, bruit électrique réduit

Tableau 3.4
Cogénération

Technologie	Applications	Disponibilité
Cycle du haut pour turbines à vapeur, à gaz, ou moteurs diesel. Récupération des pertes de chaleur du générateur électrique primaire.*	Convient aux applications industrielles ou commerciales à grande échelle ayant une combination de charges thermique et électrique; le choix du système dépend du rapport des charges électriques aux charges thermiques	Disponible dans le commerce; facteurs économiques variables selon le coût du carburant, le financement, et selon que l'installation est rattachée au réseau distributeur d'électricité ou en est séparé
Cycle Rankine du bas pour générateur à turbine organique ou à vapeur.*	Les pertes de chaleur sont utilisées comme force motrice pour générateurs électriques	Vient d'être commercialisé

* Des cycles combinés utilisant les stratégies des cycles du haut et du bas ont également fait preuve de succès commercial.

REFERENCES

1. Elias P. Gyftopolous and Thomas F. Widmer, "Cost-Effective Waste Energy Utilization," (Utilisation des déchets énergétiques avec bon rendement par rapport aux dépenses) Annual Review of Energy, 1982. Vol. 7, pp. 293-327, Palo Alto, CA 94306.

2. M.H. Chiogioji, Industrial Energy Conservation (Economies d'énergie industrielle), New York: Marcel Dekker, p. 603, 1979.

4. OBSERVATIONS D'APRES UN CAS PARTICULIER: LE BRESIL

4.1 SITUATION ENERGETIQUE AU BRESIL

Tout comme les autres pays en développement importateurs de pétrole, le Brésil a été profondément touché par l'augmentation des prix du pétrole qui sévit dans les années 70. Pour le soutien de ses programmes de développement économique, le Brésil dépend actuellement du capital et de la technologie offerts par les pays industrialisés; le Brésil dépend également de l'OPEC pour le pétrole qui fait marcher son secteur industriel moderne.

Ces problèmes ont incité le Brésil à lancer un programme ambitieux de diversification du secteur énergétique, de réduction de sa dépendance sur le pétrole d'importation, et d'accroissement de l'exportation. La stratégie énergétique du Brésil comprend les éléments suivants:

* accroissement de la production d'éthanol à partir de la biomasse, en premier lieu de la canne à sucre et en deuxième lieu de cassave (manioc);

* accroissement de la production domestique de pétrole, de gaz naturel, et de charbon;

* expansion soutenue à grande échelle des centrales hydro-électriques et nucléaires.

* efficacité accrue de la consommation d'énergie, en particulier, de celle du carburant utilisé par les industries et les transports.

* utilisation croissante des sources d'énergie renouvelable, tels que les systèmes de génération thermique et électrique activés par l'énergie solaire, l'énergie éolienne, le biogaz, et les centrales hydro-électriques à petite échelle.

De telles mesures sont actuellement adoptées par un nombre appréciable d'autres pays en développement. La Banque Mondiale a estimé que l'investissement de capital nécessaire pour ces programmes dans les dix prochaines années pour les pays en développement importateurs de pétrole se chiffre à plus de 600 milliards de dollars. Le taux annuel moyen d'investissement de 60 milliards de dollars est de cinq fois supérieur à celui des années 1966 à 1975.

Le Brésil étant le plus grand importateur de pétrole de l'ensemble des pays en développement et étant le dixième pays producteur à l'échelle mondiale, il doit s'assurer une technologie de combustibles qui puisse substituer le pétrole pour ses secteurs de l'industrie et du transport. Or, il s'est avéré que le programme d'après-guerre tant couronné de succès avait un défaut majeur: l'énergie sur laquelle était fondée l'expansion industrielle était surtout le pétrole d'importation. Les planificateurs brésiliens ont pris l'habitude de considérer le pétrole d'importation comme étant bon marché et l'énergie hydro-électrique comme abondante. En 1979, le Brésil

importait près de 85% du pétrole* nécessaire, ce qui représentait 42% de la consommation totale d'énergie du pays. En 1980, la facture de pétrole importé au Brésil s'élevait à 10 milliards de dollars, ce qui correspond à près de la moitié de la valeur totale de ses importations ou exportations. L'évolution de la facture de pétrole importé est illustrée dans la figure 4.1.

Tableau 4.1
Consommation de pétrole au Brésil en 1979

Consommation de pétrole	= 41% de la consommation d'énergie totale
Consommation totale de pétrole	= 1 079 000 barils/jour
Pétrole d'importation	= 914 000 barils/jour
Fuel oil	= 33% de l'ensemble du pétrole
Diesel oil	= 28% de l'ensemble du pétrole
Essence	= 20% de l'ensemble du pétrole
Autres carburants	= 19% de l'ensemble du pétrole

Les planificateurs de politique énergétique brésiliens cherchent actuellement des moyens qui puissent utiliser l'énergie plus efficacement, en particulier dans le secteur industriel, tout en maintenant des taux de croissance économique qui étaient d'ailleurs traditionnellement supérieurs à ceux des pays industrialisés avancés. Il existe un excellent moyen pour alléger ces problèmes, à savoir l'utilisation potentielle de méthodes et techniques qui améliorent l'efficacité énergétique et qui fournissent de l'énergie à partir de ressources en énergie renouvelable existant à l'intérieur du Brésil même. Le gouvernement fédéral brésilien a fortement encouragé la prise de telles mesures. Ainsi, selon le Modèle Energétique Brésilien qui est le titre du document de planification centrale préparé par le Ministère des Mines et de l'Energie à Brasilia, des économies de fuel-oil de l'ordre de 85 000 bbl/jour doivent être réalisées dès 1985.

L'expansion industrielle du Brésil s'est produite surtout au niveau des secteurs les plus gros utilisateurs d'énergie. En 1979, les cimenteries et sidérurgies ont consommé 15 et 17% respectivement du total de pétrole importé. Cette consommation dépasse considérablement la consommation énergétique des autres industries telles que les raffineries de pétrole (11%), les usines pétrochimiques (9%), et les usines de produits céramiques (9%). Les tableaux 4.1. et 4.2. indiquent la consommation de produits pétroliers en 1979 et le pourcentage de fuel-oil utilisé dans les divers secteurs de l'industrie brésilienne.

* Les chiffres récents (1981) indiquent que la proportion de pétrole produit domestiquement par rapport à la consommation totale pétrolière au Brésil a atteint 23%, alors qu'elle n'était que de 14% il y a deux ans. La quantité totale de pétrole produit est actuellement de 230 110 barils/jour, alors qu'elle n'était que de 203 100 en 1980 et de 168 692 en 1979.

Il est prévu que dans les années 80 le Brésil se situera au rang mondial des dix premiers producteurs d'acier. Déjà vers la fin des années 70, le pays était devenu le dixième producteur mondial de produits pétrochimiques, sans compter que des plans sont prévus pour l'expansion de cette industrie. En 1980, la capacité de raffinage de pétrole était suffisante

Tableau 4.2
Utilisation de fuel oil au Brésil

Secteur	Pourcentage de fuel oil utilisé
Acieries	17
Cimenteries	15
Raffineries de pétrole	11
Céramique	9
Pétrochimie	9
Industries alimentaires et boissons	8
Pâte à papier et papier	6
Energie électrique	6
Textiles	4

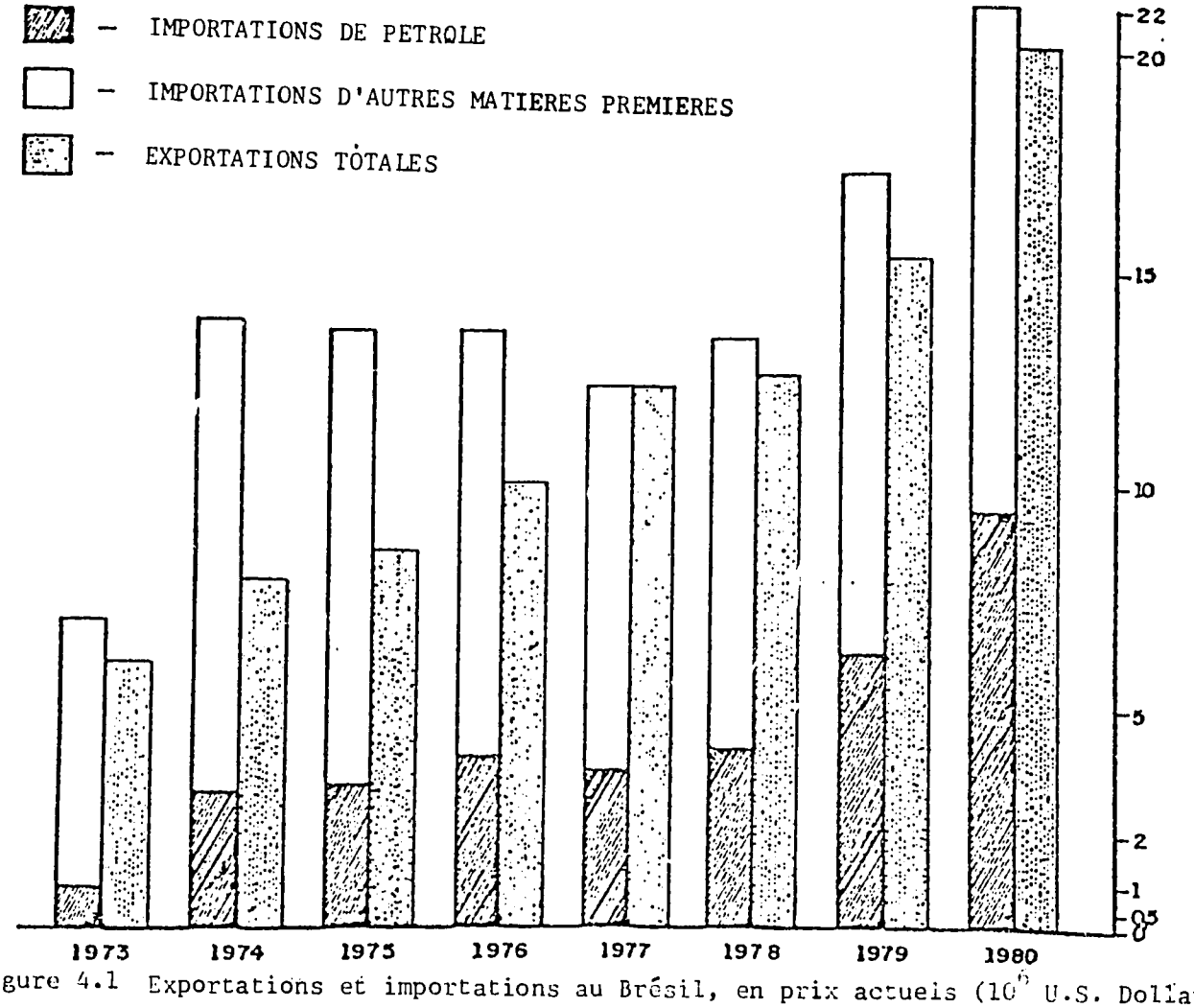


Figure 4.1 Exportations et importations au Brésil, en prix actuels (10^9 U.S. Dollars)

pour satisfaire toute la demande nationale de dérivatifs de pétrole. Le Brésil accélère également sa production de métaux non-ferreux, y compris les fonderies et raffineries d'aluminium.

Le tableau 4.3 présente les prévisions de la consommation énergétique primaire au Brésil par type d'énergie. Un aspect important de ces données est le suivant: alors que l'augmentation de la consommation primaire totale est prévue à 42% entre les années 1980 et 1985, il est prévu que la consommation de pétrole baissera de 15% en termes absolus. Ceci représente un revirement de la situation des années 70 lors desquelles la consommation de pétrole a plus de doublé et représentait une constante de 40% de la consommation d'énergie primaire. Il est prévu que les sources d'énergie appelées à substituer le pétrole comprendront l'alcool, la bagasse, et le

Tableau 4.3
Consommation d'énergie primaire et objectifs au Brésil (voir [1,2])

Source d'énergie primaire	1979 bep/jour*	1979 %	1985 bep/jour*	1985 %
1. Non renouvelable:	1 100 000	45.4	1 217 000	34.7
Combustible fossile				
d'importation**	836 000	34.5	420 000	12.0
domestique	149 000	6.2	420 000	12.0
gaz naturel	10 000	0.4	25 000	0.7
houille	105 000	4.3	304 000	8.7
schistes bitumeux	---	---	25 000	0.7
Nucléaire	---	---	23 000	0.6
2. Renouvelable:	1 320 000	54.6	2 293 000	65.3
Biomasse				
alcool	39 000	1.6	145 000	4.1
bagasse	113 000	4.7	198 000	5.7
bois de feu	421 000	17.4	394 000	11.2
charbon de bois	61 000	2.6	187 000	5.3
Hydro-électrique	686 000	28.3	1 354 000	38.6
Nouvelles sources				
solaire, éolienne, etc.	---	---	15 000	0.4
3. Consomm. d'énergie primaire	2 420 000	100.0	3 510 000	100.0
4. Economies d'énergie	---		200 000	
5. Total de 3. et 4.	2 420 000		3 710 000	

*bep/jour: baril équivalent pétrole par jour.

**Dans les chiffres indiqués pour le pétrole et l'alcool, les quantités d'énergie utilisée comme charge d'alimentation industrielle ne sont pas inclues.

charbon de bois. Il est également prévu que l'alcool fournira près de 4.1% de l'énergie primaire au Brésil, la bagasse et le charbon de bois fourniront chacun près de 5%, et que la production de charbon atteindra à peu près le triple; de même, un accroissement considérable de la production d'énergie solaire directe, éolienne, et d'énergie provenant de biogaz, de déchets, de méthanol (de bois), et de micro-centrales hydro-électriques est à prévoir.

La source d'énergie primaire la plus considérable proviendra des centrales hydro-électriques. Les plans brésiliens visant à réduire la dépendance sur le pétrole d'importation ont en particulier mis l'accent sur l'expansion de la capacité génératrice d'électricité. On peut estimer que la production d'énergie hydro-électrique doublera dans les cinq prochaines années, fournissant ainsi près de 40% de l'énergie brésilienne dès 1985. Les centrales hydro-électriques maintiendront leur prééminence comme source d'énergie électrique au Brésil, c'est à dire accroîtreront leur capacité installée d'environ 85% en 1979 à environ 90% en 1985.

Entre les années 1969 et 1979, la tranche de consommation d'énergie primaire en provenance de l'étranger a augmenté de 26% à près de 40%. Par contre, les planificateurs énergétiques brésiliens prévoient dès 1985 une chute de 50% de l'importation de pétrole par rapport aux niveaux actuels. Il est prévu que ce type d'importation ne fournira que 12% de la consommation primaire nationale dès 1985.

Alors que selon les prévisions, les demandes d'essence et de fuel oil diminueront considérablement dès 1985, celles de diesel-oil vont augmenter de près de 20%. Finalement, il est à relever que dans ces prévisions, la contribution des économies d'énergie en 1985 est supérieure à la contribution du programme d'énergie d'alcool, et constitue près de 20% de ce que sera la consommation totale de pétrole durant 1985.

La consommation d'électricité par secteurs est représentée dans le tableau 4.4 (SP = Sao Paulo, PR = Parana, SC = Santa Catarina, RGS = Rio Grande do Sul). La production d'électricité dans l'enceinte même de certaines grandes industries constitue moins de 5% de la production électrique du Brésil.

Le secteur des transports étant le plus grand utilisateur de pétrole, il consomme pratiquement toute l'essence et 80% du diesel oil. La deuxième place d'utilisation est détenue par le secteur industriel qui consomme près de 90% du fuel oil. Le tableau 4.5 représente la répartition des produits pétroliers en pourcentage selon les secteurs utilisateurs.

4.2 TECHNOLOGIES ECONOMIQUEMENT INTERESSANTES AU BRESIL: SELECTION D'EXEMPLES

4.2.1. Pompes à chaleur: applications commerciales et industrielles

Les pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" et pompes à chaleur pour déchets de chaleur industriels sont des technologies qui semblent particulièrement bien convenir au Brésil. Ces technologies utilisent toutes deux l'énergie hydro-électrique produite domestiquement et viennent ainsi directement remplacer le pétrole d'importation. La technologie des pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau", c.à.d. la production simultanée d'air conditionné et d'eau chaude convient

particulièrement bien aux importantes industries brésiliennes, tels que l'industrie textile, de pâte à papier et de papier, et de produits alimentaires. En prenant comme base les prix actuels de l'électricité aux U.S.A., la performance économique des deux types de pompes à chaleur semble être supérieure à celle du chauffage par des éléments résistifs, par les hydrocarbures ou le solaire; il est probable que cette situation est la même au Brésil.

Les principes de physique et d'ingénierie sur lesquels est fondée la technologie de pompes à chaleur à compression de vapeur sont traités depuis des décennies (Heap[10], p. 3) et font l'objet d'un grand nombre d'articles techniques et de notes. Pour cette raison ainsi que pour les raisons citées ci-après, la discussion des pompes à chaleur se bornera à deux applications fondamentales:

* Pompes à chaleur à l'échelle résidentielle ou commerciale dont la fonction est de fournir le chauffage de l'eau et le refroidissement des espaces libres.

* Pompes à chaleur à l'échelle industrielle qui utilisent comme source de chaleur les déchets de chaleur à basse température.

Les pompes à chaleur d'air-à-air utilisées pour le chauffage des espaces libres ne seront pas discutées dans ces propos étant donné que le chauffage des espaces libres au Brésil ne trouve que peu d'applications et que l'intérêt porté à de telles applications provient presqu'uniquement des secteurs industriel et commercial. Les pompes à chaleur aidées par le solaire ne sont actuellement pas considérées comme pratiques pour les secteurs résidentiel et commercial, mais des études plus approfondies pourront porter fruit.

Tableau 4.4
Consommation d'électricité par secteur en 1979 (GWh)[3,8]

	Industriel	Résidentiel	Commercial	Rural	Autre*	Total
SP	25 928	8 341	4 381	581	4 114	43 345
	60%	19%	10%	1%	10%	100%
PR	2 475	945	700	139	578	4 837
	58%	20%	14%	3%	12%	100%
SC	1 904	496	343	178	216	3 137
	61%	16%	11%	5%	7%	100%
RGS	2 471	1 238	792	234	537	5 272
	47%	24%	15%	4%	10%	100%
Etats du Sud	32 778	11 020	6 216	1 132	5 445	56 591
	58%	19%	11%	2%	10%	100%
Brasil	63 776	21 131	12 603	1 520	10 824	109 854
	58%	19%	12%	1%	10%	100%

* Y compris l'éclairage dans les secteurs publics, gouvernemental, service des eaux et traitement des eaux usées.

Tableau 4.5
Consommation de produits pétroliers par secteur en 1979[9]

Etat	Produit	Industrie	Transports	Commercial	Ménager	Rural	Autres
SP	Gaz Pétr.Liqu.	9.8%	---	4.1%	85.9%	[2]0.1%	0.2%
	Essence	2.0%	93.8%	2.8%	---	0.2%	1.2%
	Diesel oil	19.5%	68.0%	8.3%	---	2.3%	1.9%
	Fuel oil	91.0%	0.5%	6.8%	---	1.4%	0.3%
PR	Gaz Pétr.Liqu.	2.6%	---	5.6%	91.5%	---	0.3%
	Essence	0.9%	94.5%	2.5%	---	0.3%	1.8%
	Diesel oil	8.3%	76.3%	5.9%	---	2.5%	7.0%
	Fuel oil	91.6%	1.4%	3.4%	---	2.9%	0.7%
SC	Gaz Pétr.Liqu.	13.7%	---	5.5%	80.4%	---	0.4%
	Essence	1.3%	96.2%	1.4%	---	0.2%	0.9%
	Diesel oil	11.5%	81.3%	3.2%	---	0.8%	3.2%
	Fuel oil	91.5%	0.5%	3.1%	---	1.2%	3.7%
RGS	Gaz Pétr.Liqu.	3.7%	---	6.5%	86.6%	---	3.2%
	Essence	0.7%	95.6%	2.1%	---	0.3%	1.3%
	Diesel oil	5.4%	76.7%	3.7%	---	6.9%	7.3%
	Fuel oil	85.7%	0.1%	6.4%	---	1.0%	6.8%
Brasil	Gaz Pétr.Liqu.	6.8%	[2]0.1%	3.7%	88.8%	---	0.6%
	Essence	1.5%	94.2%	2.5%	---	0.3%	1.5%
	Diesel oil	14.4%	71.3%	7.1%	---	2.9%	4.3%
	Fuel oil	92.3%	0.5%	4.8%	---	1.5%	0.9%

Les sections suivantes contiennent des examples de pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" et de pompes à chaleur de taille industrielle utilisant la chaleur contenue dans les déchets thermiques. La liste des applications est loin d'être complète; ces examples de pompes à chaleur viennent simplement mais élégamment illustrer le nombre d'applications possibles permettant ainsi une utilisation plus efficace des ressources d'énergie hydro-électrique du Brésil.

4.2.2 Refroidissement de l'air - chauffage de l'eau pour applications commerciales et résidentielles

La figure 4.2 est un dessin schématique des principes fondamentaux d'opération d'une pompe à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau". Le compresseur activé par un moteur électrique fait circuler le réfrigérant à travers un condensateur faisant fonction d'échangeur de chaleur qui transfère la chaleur latente de condensation à l'alimentation d'eau chaude. Ce condensateur peut se trouver dans le réservoir d'eau chaude ou dehors, comme le représente le dessin. Le réfrigérant subit par la suite une expansion dans un tube capillaire où il est refroidi par le passage de la phase liquide à la phase gazeuse. Le réfrigérant refroidi est alors utilisé pour le refroidissement du système d'aération: un ventilateur fait circuler l'air à travers l'échangeur de chaleur d'évaporation et, selon l'usage envisagé de l'eau chaude et la température exigée, la chaleur transférée à l'eau peut être utilisée directement ou comme préchauffage. L'air refroidi peut être utilisé pour le refroidissement de l'air ou la déshumidification par moyen d'un système indépendant ou d'un système de conditionnement de l'air.

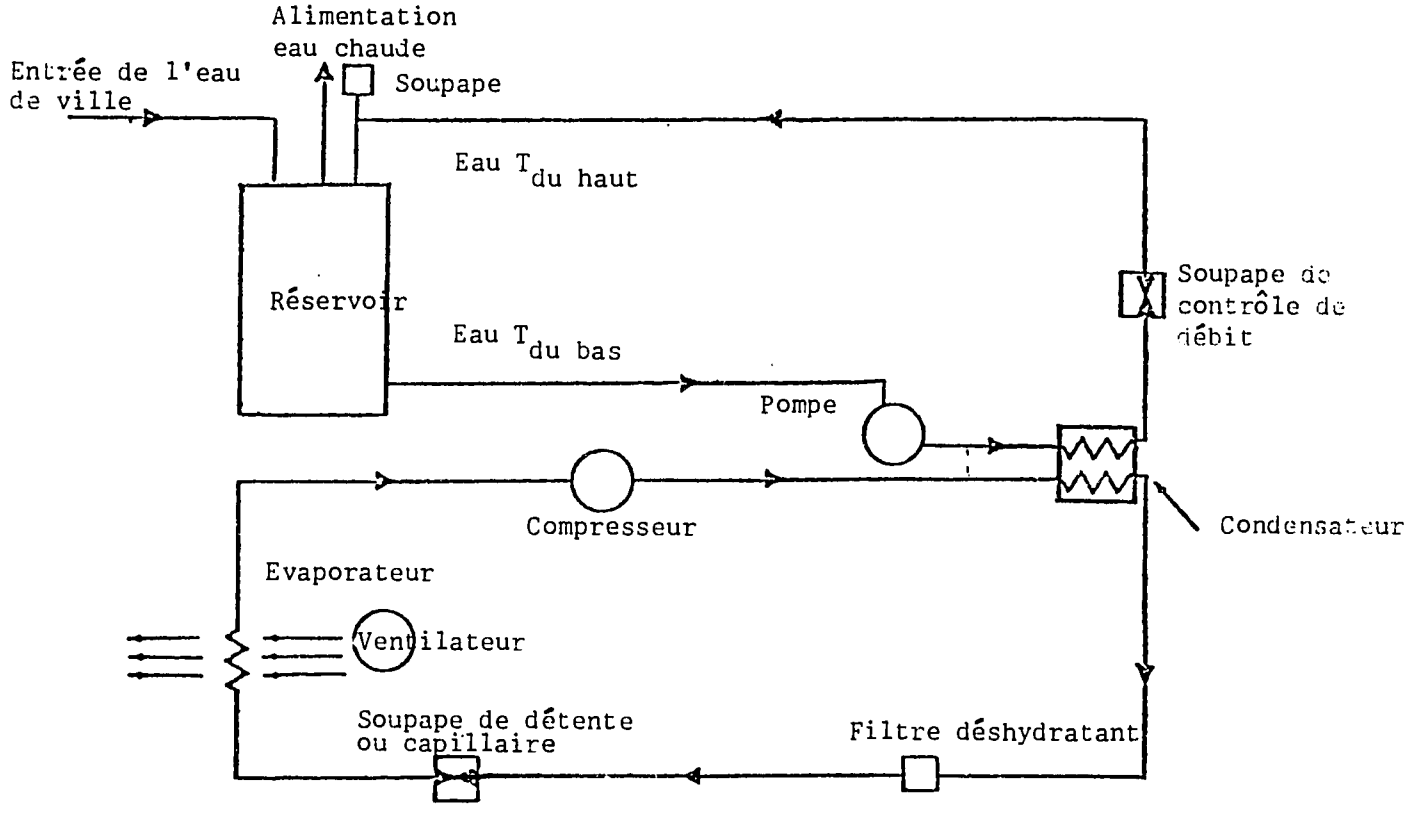


Fig. 4.2 Pompe à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau": principes fondamentaux (schéma communiqué par la société E-Tech, Inc., Atlanta, GA, U.S.A.)

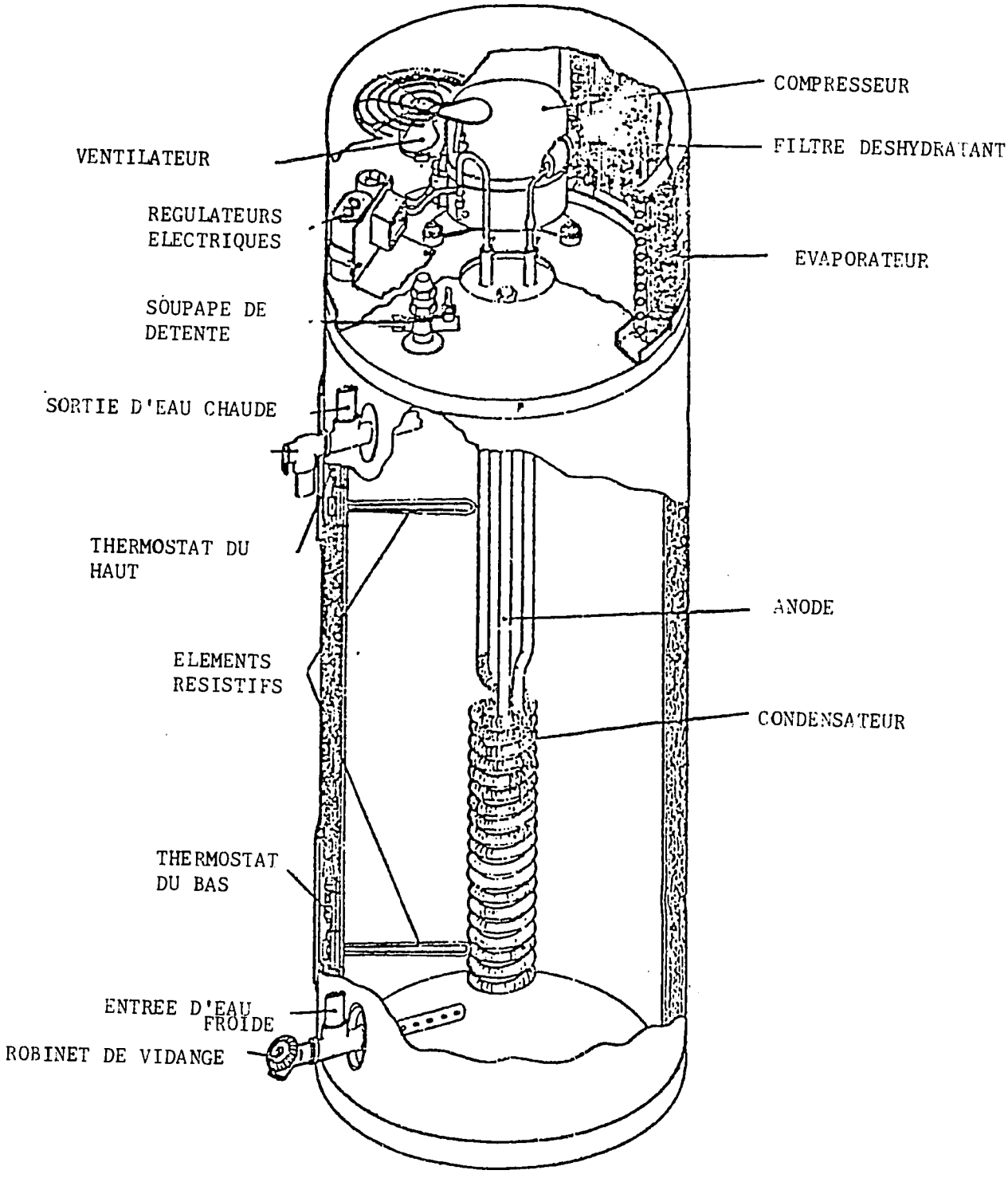


Fig. 4.3 L'unité Temcor (schéma communiqué par la Tennessee Valley Authority.[11])

La performance des pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" est optimale dans les climats modérés qui exigent l'emploi combiné de conditionnement de l' air et de chauffage de l'eau. Le climat du Brésil méridional semble bien convenir à l'application de telles pompes, étant donné que la température moyenne quotidienne des régions côtières du Sud en hiver ne descend pas au-dessous de 13°C ou 16°C, et que les charges de refroidissement dans les bâtiments augmentent à fur et à mesure qu'on va vers le Nord. Les pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" sont économiquement très intéressantes dans des édifices tels que les hôpitaux, hôtels, bureaux, écoles, restaurants, et résidences, promettant ainsi un marché répandu pour les climatiseurs et les systèmes de chauffage au niveau des ménages.

Les essais et évaluations effectués sur les pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" ont pu démontrer leur bonne performance dans les conditions climatiques et tarifaires électriques des U.S.A., en particulier dans les régions ensolleillées du Sud des Etats-Unis. Dans un programme effectué en chantier par la Tennessee Valley Authority, deux systèmes ont été soumis à des essais:[11] le système Temcor à condensateur à l'intérieur du réservoir et le système Efficiency II à condensateur à l'extérieur du réservoir. Les résultats de ces essais ont permis la réalisation d'économies annuelles de 46 à 57% respectivement par rapport au chauffage de l'eau par des éléments résistifs, ceci sans même compter les économies réalisées par les climatiseurs. L'unité Temcor est fabriquée par la société Energy Utilization Systems à Pittsburgh, PA, U.S.A., et le prix de vente actuel est de près de $1000 à $1200, y compris son installation (fig.4.3). Le système Efficiency II est fabriqué par E-Tech à Atlanta, état de Géorgie,

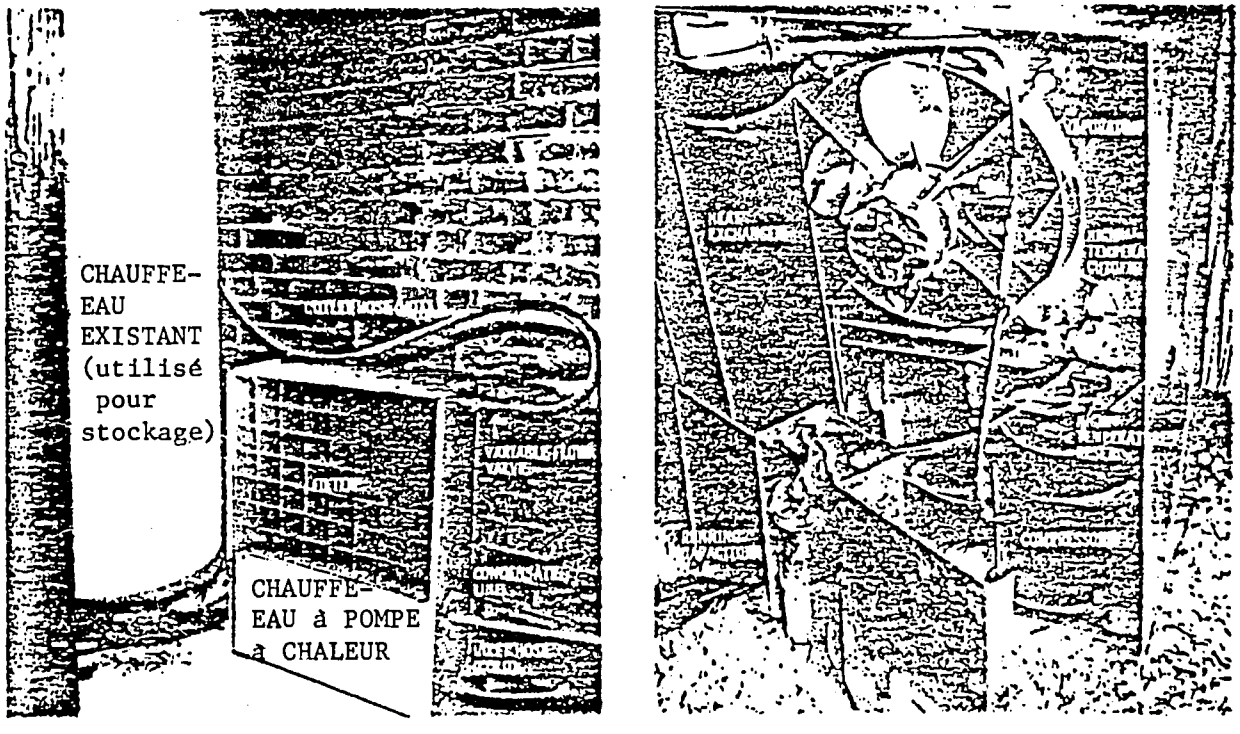


Fig. 4.4 Pompe à chaleur Efficiency II (d'après Popular Science, Avril 1980).

U.S.A. (fig. 4.4). Seules les unités pour usage résidentiel furent soumises au banc d'essai, ce qui a permis la détermination des dimensions nécessaires; il convient d'ajouter que des résultats tout aussi satisfaisants ou meilleurs pourront probablement être obtenus pour des unités à grande capacité. Parmi d'autres fabricants américains, il faut citer Fedders Corp. à Edison, N.J., qui offre un modèle réadaptable semblable à ceux de E-Tech et de Mor-Flo Industries, Cleveland, OH, U.S.A.

Les gains sous forme de climatisation réalisés par les pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" sont faciles à estimer et peuvent être formulés comme suit: la chaleur fournie à l'eau est la somme de la chaleur fournie par la compression du réfrigérant par le moteur électrique et de la chaleur soutirée à l'air ambiant, c'est à dire, émanant du climatiseur. Ainsi, lorsqu'une certaine pompe à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" a un coefficient de performance de 3,0, cela signifie que pour deux unités de chaleur soutirées à l'air ambiant, une unité d'énergie électrique a été fournie; ainsi, chaque unité d'énergie électrique utilisée produit trois unités de chauffage de l'eau et deux unités de conditionnement de l'air. Il est évident qu'en saison de chauffage, la chaleur soutirée à un espace libre aura pour conséquences une utilisation accrue d'énergie électrique; mais cette dernière considération a peu d'importance dans un climat modéré comme celui du Brésil.

En résumé, il est important de bien prendre en considération les facteurs ci-dessus règnant au Brésil, à savoir les vastes ressources d'énergie électrique, la saison de chauffage de courte durée, la performance et fiabilité des pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'air", les conditions climatiques où l'on peut utiliser simultanément le conditionnement de l'air et le chauffage de l'eau, et la politique gouvernementale dont l'objectif est de réduire la consommation de fuel-oil tout en visant à une expansion de l'économie et à une amélioration du standard de vie de la population. L'ensemble des facteurs de cette situation énergétique suggère un grand potentiel pour les pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" au Brésil dans les années à venir.

4.2.3 Applications industrielles des pompes à chaleur qui utilisent les déchets de chaleur à basse température comme source de chaleur

Alors que les pompes à chaleur utilisant des capteurs solaires comme source de chaleur ont contribué à l'amélioration de la performance des systèmes activés par l'énergie solaire, [12] nous nous bornerons à la description des pompes à chaleur qui utilisent les déchets de chaleur à basse température éliminés par les industries pour l'alimentation de chaleur à température plus élevée pour les procédés industriels.

Des pertes de chaleur exploitables sont enregistrées dans presque tous les secteurs industriels d'importance. Or, les pompes à chaleur utilisant précisément ces pertes comme source de chaleur peuvent être employées dans des conditions très diverses. Ainsi, par example, le "Templifier" de McQuay-Perfex (modèle à l'origine développé par Westinghouse) qui est installé dans la succursale de la société UOP, la Wolverine Division à Decatur dans l'état de l'Alabama, utilise la chaleur de 38°C contenue dans l'eau de refroidissement de l'équipement pour fournir de l'eau de 71°C à 88°C à un système de tuyauterie distributeur, le coefficient de performance étant de 3,45. Cette installation a été inspectée en 1981 pr des équipes

brésiliennes et américaines spécialistes en matière d'énergie et sa performance technique et économique est détaillée ci-après.

L'installation inspectée était une pompe à chaleur Westingouse Templifier de 600 CV à 5.4 MBtu/heure (1.58 MW_{th}) produisant de l'eau chaude de 71° à 88°C à partir de pertes de chaleur à basse température. Le tableau 4.6 donne les caractéristiques de performance des chaudières chauffées au gaz naturel, et la figure 4.5 illustre schématiquement la stratégie suivie pour l'opération.

Les pompes à chaleur ont un potentiel de vente excellent au Brésil pour les raisons suivantes:

* Le pétrole et le gaz naturel sont directement déplacés par l'énergie hydro-électrique.

* Excellente rentabilité.

* Les industries du textile et de l'alimentation au Brésil dont la consommation est de plus de 10% du fuel-oil, utilisent des températures qui sont compatibles avec les pompes à chaleur industrielles.

* La capacité actuelle et potentielle de production de ce type de technologie au Brésil. En effet, le Brésil possède actuellement une industrie de systèmes de réfrigération et de conditionnement de l'air.

* Meilleure utilisation de l'excédent de capacité génératrice d'électricité actuellement en existence pour pouvoir satisfaire la charge accrue due à l'éclairage aux heures du soir.

D'une façon générale, les pompes industrielles sont applicables aux industries qui ont recours à des procédés de refroidissement et de chauffage à basse température, lorsque ceux-ci se trouvent à proximité l'un de l'autre. Ainsi, une analyse énergétique et un examen de la comptabilité énergétique d'une usine de conditionnement des viandes à Detroit a montré que l'installation de deux pompes à chaleur de 386 kW utilisant la chaleur de 32°C éliminée par la réfrigération pourrait fournir 75% du chauffage exigé par $1,9 \times 10^6$ litres/jour d'eau à 60°C utilisée pour les procédés de fabrication. D'après des calculs, on a pu estimer que pour une dépense initiale de \$150 000 à \$200 000, le temps de récupération est légèrement en-dessous d'une année.[13]

Tableau 4.6
Caractéristiques techniques et économiques de la pompe à chaleur industrielle Templifier Industrial Heat Pump (de la société UOP, Wolverine Division, Decatur, AL)

Caractéristiques techniques du Templifier

Conditions opératoires maximales: 5.43 millions Btu/heure (1.58 MW), chauffant 1170 litres/min d'eau chaude à 71° - 88°C lorsqu'alimenté par 5680 litres/min d'eau à 43°C et 460 KW de puissance électrique. Indice de performance: 3.45.

Conditions opératoires minimales: eau d'entrée à 24°C ayant un débit de 5680 litres/min; eau de sortie de 60° - 77° ayant un débit de 1420 litres/min. Indice de performance: 3.09.

Comparaison des charactéristiques économiques avec celles des chaudières:

Templifier	Chaudière chauffée au gaz
Coût de l'électricité: 2¢/kWh	Coût du gaz/propane: 11¢/m^3
Coût de l'installation: $225 000	Coût de l'installation: 0
Coefficient de performance: 3.45	Efficacité: 65%
Capacité du système:5.43 millions Btu/h	Capacité du système: 5.43 millions Btu/h
Entretien: $6000	Entretien:$3000

Temps de récupération: 1.34 année
Rentabilité: 79.71%

4.2.4 Applications potentielles des pompes à chaleur

Les calculs indiquant les marchés potentiels pour les techniques nouvelles sont, tout au plus, imprécis en raison du grand nombre de suppositions sur les statistiques et le comportement des systèmes. Ainsi, par example, les estimations quantitatives du marché potentiel pour les pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'eau" et des pompes à chaleur utilisant les déchets thermiques industriels se bornent aux calculs de saturation maximale du marché. Les facteurs dont il est tenu compte dans ces calculs comprennent les profils de la consommation énergétique dans les secteurs résidentiel et industriel, l'historique de l'utilisation du pétrole, les caractéristiques techniques de l'équipement, et l'importance accordée par le Brésil à la réduction de la consommation de pétrole. Par contre, il n'a pas été tenu compte de facteurs tels que la disponibilité de capital, la réaction de la part du consommateur, et les taux de croissance en prévision.

Pompes à chaleur "refroidissement de l'air - chauffage de l'air". La consommation totale de gaz de pétrole liquéfié dans les quatre états méridionaux du Brésil s'élevait à approx. 1400×10^3 tep pour l'année 1979 et près de la totalité de ce gaz de pétrole liquéfié était utilisée par le secteur résidentiel pour le chauffage de l'eau en particulier.

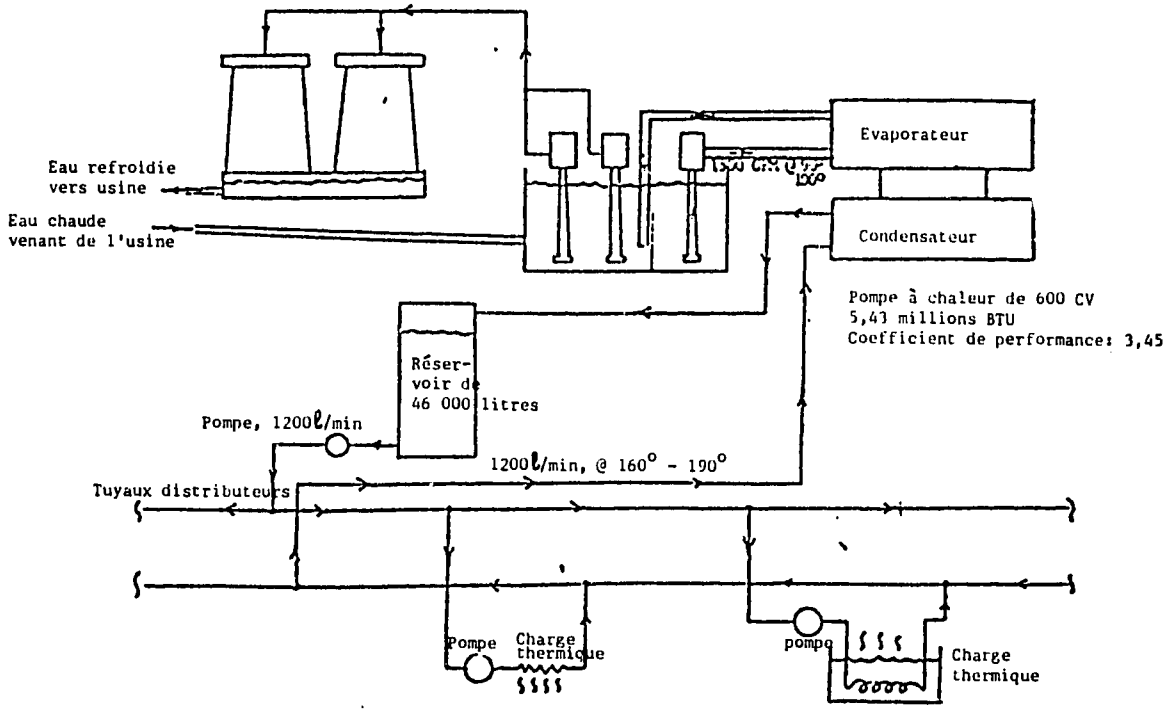


Fig. 4.5. Stratégie opératoire de la pompe à chaleur Templifier de Westinghouse (communiqué par la société UOP, Wolverine Division, Decatur,AL)

Pour calculer l'équivalent de cette consommation de gaz de pétrole liquéfié en capacité de pompe à chaleur installée, il faut supposer un facteur de capacité allant de 0.33 à 0.50. Et, en supposant que

* l'ensemble du chauffage résidentiel et commercial est alimenté par le gaz de pétrole liquéfié,

* 80% du total de gaz de pétrole liquéfié est consommé par le chauffage de l'eau dans le secteur résidentiel et commercial,

* le gaz de pétrole liquéfié brûle à une efficacité moyenne de 70%,

le marché potentiel pour les pompes à chaleur "refroidissement de l'air-chauffage de l'eau" dans les quatre états méridionaux se chiffrait en 1979 à une capacité productrice thermique de 2310 - 3150 MW, soit 7.88×10^{12} à 11.7×10^{12} Btu/heure.

Pompes à chaleur industrielles. L'approche prise pour estimer le marché potentiel pour les pompes à chaleur utilisant les déchets thermiques industriels, consiste à prendre d'abord note de la consommation totale de fuel oil au Brésil qui était de 17.6×10^{6} tep en 1979, dont 85% était utilisé par le secteur industriel, et 5% par la production d'électricité (voir tableau 4.7). Etant donné que les pompes à chaleur utilisant les déchets

thermiques industriels sont conçues pour produire de l'énergie atteignant 100°C au maximum, l'analyse du marché devait se borner à des applications qui exigent ce régime de température. La figure 4.6 représente le profil de la demande pour la gamme des industries existant aux Etats-Unis et indique que 20% de la chaleur totale utilisée pour les procédés industriels, y compris l'énergie pour le préchauffage dans les procédés à haute température, est situé au-dessous de cette limite.

Tableau 4.7

Pourcentage de la consommation totale de fuel-oil au Brésil selon type d'industrie (voir réf. 21, p. 81)

Type d'industrie[a]	Application principale	% de la consommation totale de fuel-oil
Ciment[b]	Chaleur à haute température	15
Céramique	Chaleur à haute température	9
Energie électrique	Génération d'énergie thermo-électrique	6
Raffineries de pétrole	Vapeur Energie électrique	11
Acier[c]	Vapeur Chaleur Energie électrique	17
Pâte à papier[d]	Vapeur Energie électrique	6
Industrie alimentaire	Vapeur Temp. basse ou moyenne	8
Industrie textile	Vapeur	4
Pétrochimie	Vapeur	9
Total		85

[a] Pour encourager les économies d'énergie, le gouvernement du Brésil offre des prêts à 5% d'intérêt remboursables en 5 ans plus 1 an d'extension pour 90% des investissements nécessités pour la mise en oeuvre de mesures d'efficacité énergétique.

[b] Dès décembre 1981, on a pu enregistrer que 39% du pétrole utilisé par les cimenteries a été remplacé par des carburants de substitution.

[c] Dès décembre 1981, on a pu enregistrer des économies d'énergie de 24%.

[d] 14% d'économies d'énergie ont été réalisées dès décembre 1981.

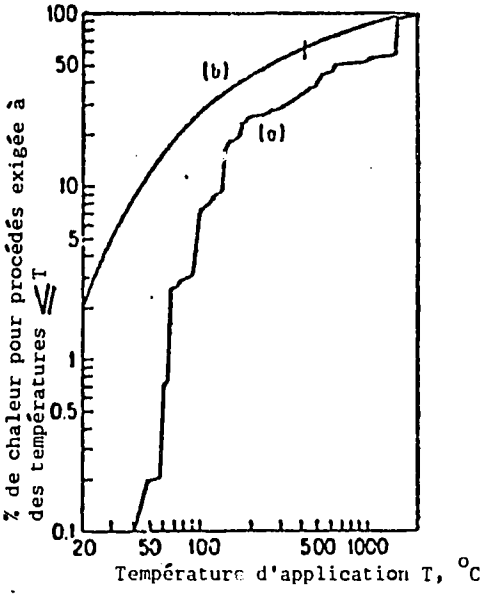


Fig. 4.6 Demande cumulative de chaleur pour procédés industriels en fonction de la température des procédés: a) toute la chaleur est fournie à la température requise, b) la chaleur est fournie pour le préchauffage allant de 16°C à T°C (d'après ERDA,[14,15]).

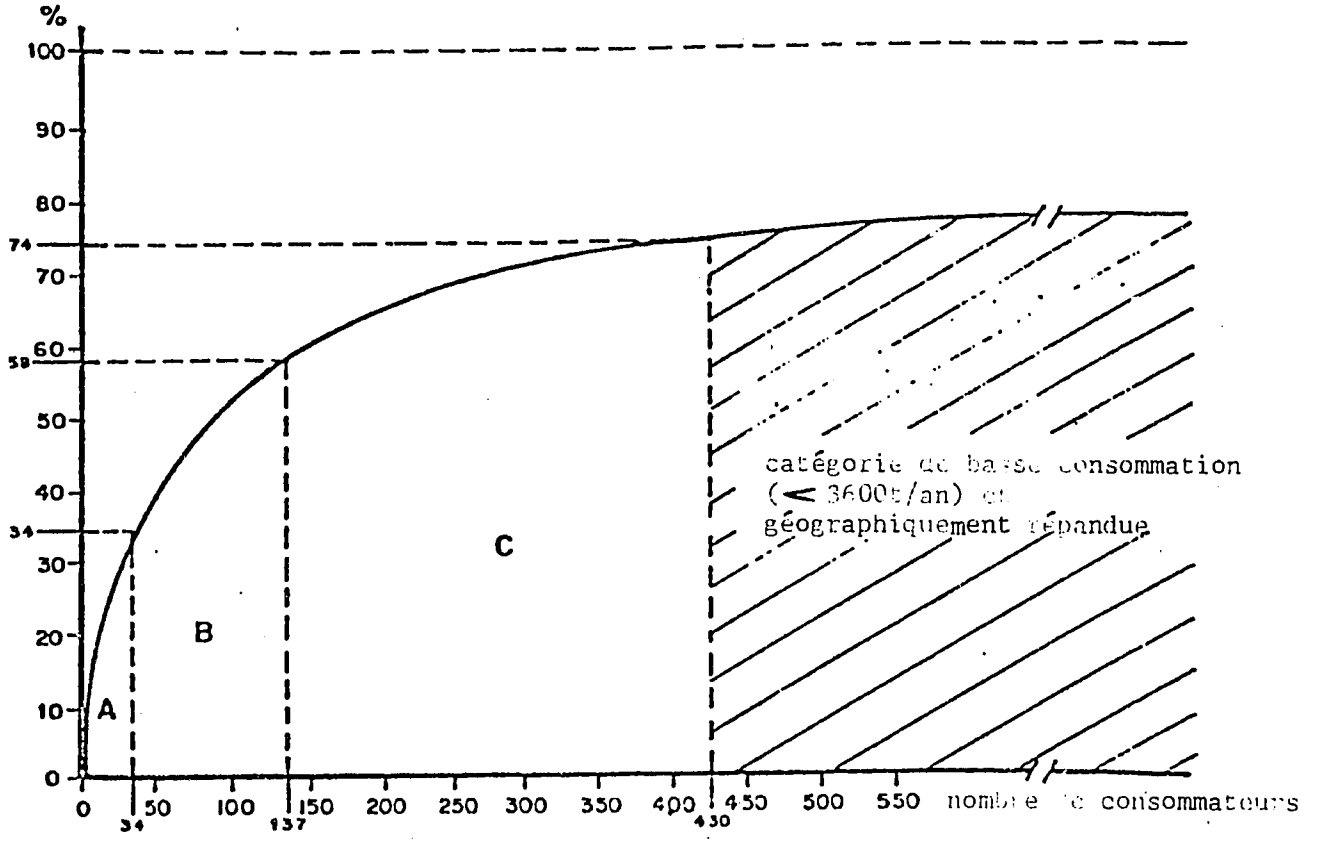


Fig. 4.7 Concentration de la consommation de fuel oil par les entreprises industrielles (d'après MME,[2], p. 83). Catégories de consommation: A, >68 000 t/an; B, 18 000 à 68 000 t/an; C, 3600 à 18 000 t/an.

Une autre contrainte sur la grandeur maximum du marché potentiel est que la distribution de la consommation totale de fuel oil au Brésil est une fonction de l'échelle du système consommant, c'est à dire que les pompes à chaleur utilisant les déchets thermiques industriels sont moins souvent installées dans les petites usines, mais sont installées plutôt dans les grandes usines. La figure 4.7 montre que 58% de fuel oil est utilisé dans des usines ayant des taux de consommation élevés, et le restant des taux moindres. En supposant que uniquement les usines ayant des taux supérieurs à 18 000 tep/année ont installé des pompes à chaleur utilisant les déchets thermiques industriels, le déplacement de fuel oil que de telles pompes à chaleur auraient engendré au Brésil en 1979 s'énonce comme suit:

17.6×10^6 tep/année de consommation totale de fuel oil x
x 0.80 pour usage thermique dans l'industrie x
x 0.20 pour la chaleur (y compris le préchauffage) à $>100^{o}C$, U.S. x
x 0.58 pourcentage d'usines de taille appropriée =
= $1.63 \times x10^6$ tep/année.

Nous supposons une utilisation annuelle de 4000 heures pour calculer approximativement la capacité maximale de production de chaleur installée. Ainsi, en 1979, les pompes de chaleur utilisant les pertes thermiques industrielles auraient pu contribuer

$$1.63x10^6 \ \frac{\text{tep}}{\text{année}} \times 0.7 \text{ (eff.)} \times 0.0205 \ \frac{\text{bep/jour}}{\text{tep/année}} \times 5.9x10^6 \ \frac{\text{Btu}}{\text{bep}} \times$$

$$\times \frac{1 \text{ jour}}{24 \text{ heures}} \times 2.9x10^{-4} \ \frac{\text{kW}}{\text{Btu/heure}} \times \frac{8760}{4000} \text{ (utilisation = 3.65GW = 3650 MW).}$$

4.2.5 Sommaire

Deux types de pompes à chaleur en particulier, semblent prometteurs pour les conditions règnant au Brésil. Parmi les facteurs qui favorisent l'utilisation des pompes à chaleur, il faut citer la politique énergétique nationale qui vise à réduire la consommation de fuel oil, l'ample capacité de production d'énergie hydro-électrique, le climat modéré, le profil de l'utilisation industrielle d'énergie à des températures basses ou moyennes, l'utilisation d'énergie résidentielle et commerciale surtout sous forme d'électricité, la volonté d'utiliser efficacement la capacité génératrice et le tranport de l'électricité, et la capabilité de produire de l'équipement de compression de la vapeur.

Les pompes à chaleur à usage résidentiel et commercial qui fournissent simultanément le conditionnement de l'air et le chauffage de l'eau seraient ainsi en mesure de capter ces deux marchés energétiques, tout en utilisant cette capacité productrice d'énergie hydro-électrique de façon très efficace. Par surcroît, l'aspect économique extrêmement favorable de ces dispositifs par rapport aux technologies de sources d'énergie renouvelable pourraient inciter le consommateur à adopter ces dispositifs pour son conditionnement de l'air - chauffage de l'eau résidentiel, et encourager les hôpitaux, les restaurants, et autres établissements commerciaux de petite taille à en faire autant.

Les pompes à chaleur industrielles qui utilisent les écoulements de chaleur perdue pour en faire usage sous forme de chaleur à basse température pour procédés industriels ou pour le préchauffage industriel semblent bien convenir au Brésil. De telles pompes sont très rentables et leur mise en oeuvre est très faisable dans les industries alimentaires, textiles, de production d'alcool, de pâte à papier et papier, pétrochimiques, et les raffineries. En plus, d'après le profil énergétique brésilien, ces dispositifs qui sont activés par de l'énergie hydro-électrique renouvelable et domestique pourraient réduire la consommation totale de fuel oil jusqu'à 9% approximativement, le chiffre de 4.5% étant un objectif plus réaliste.

4.2.6 Récupérateurs de chaleur

Un récupérateur de chaleur est, dans sa conception, un échangeur de chaleur d'air-à-air rattaché aux tubes d'échappement des usines utilisant les procédés de combustion. En général, l'air de combustion est préchauffé au cours de son passage à travers le récupérateur, ce qui permet d'économiser du carburant (voir fig. 4.8).

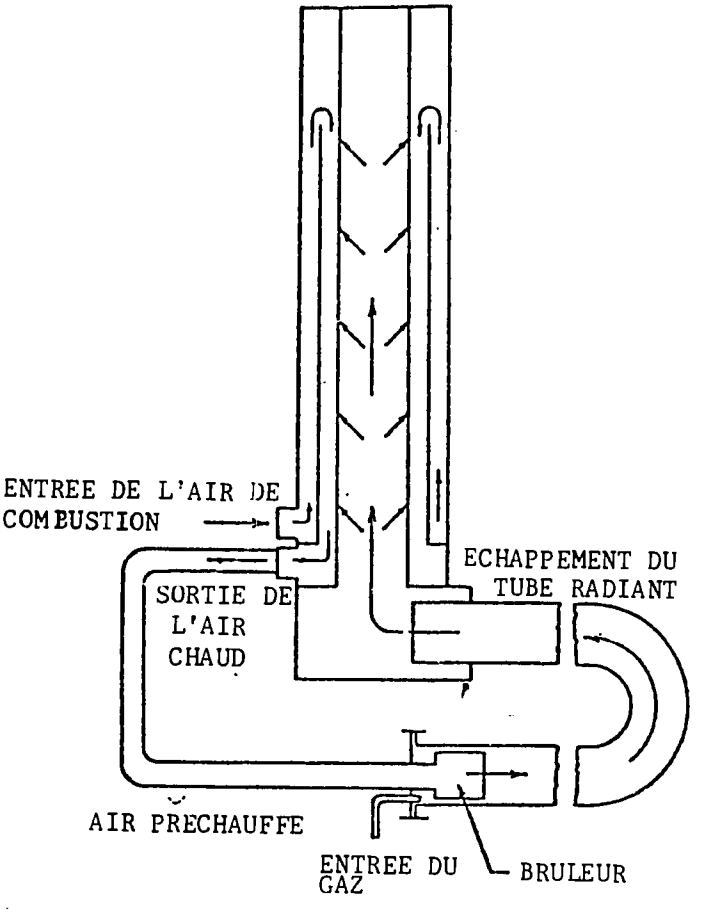


Figure 4.8 Récupérateur de chaleur (Wolverine Division, UOP, Decatur, Alabama)

Dans l'usine Wolverine à Decatur, AL, les récupérateurs ont été fixés aux fours à recuire. En préchauffant l'air de combustion à une température de près de 482°C, on peut économiser 22% de la consommation de gaz naturel. L'installation de ces récupérateurs coûte $ 12 000 pour chaque four. Le prix du gaz naturel étant $0.11/m^3, le temps de recouvrement des investissements est de légèrement au-dessous d'un an.

Ce récupérateur a été inspecté en 1981 par des équipes brésiliennes et américaines expertes en matière d'énergie; il en a été conclu que les récupérateurs on un excellent potentiel de marché au Brésil pour plusieurs raisons, dont en particulier: la technologie est connue à fond, des quantités considérables de pétrole sont ainsi déplacées, et ces dispositifs peuvent être facilement fabriqués et installés par des sociétés brésiliennes.

4.3 ANALYSE FINANCIERE DE LA TECHNOLOGIE DES POMPES A CHALEUR

Une analyse financière détaillée de la technologie des pompes à chaleur a été entreprise pour le Brésil. Pour cette technologie, les critères sont le taux de rentabilité interne, le coût de l'énergie nivelé, et le temps de récupération du capital investi. Le taux de rentabilité interne est d'intérêt particulier car il sert de critère à un grand nombre d'établissements financiers internationaux pour l'évaluation de projets. Les figs. 4.9 et 4.10 indiquent le taux de rentabilité interne pour pompes à chaleur industrielles et pour les procédés de chaleur à partir du solaire, en fonction des coûts du capital d'investissement, pour deux différents prix du pétrole ($ 34 et 45 par baril), et pour plusieurs taux d'intérêts sur emprunts. L'inflation au Brésil étant de près de 100%, le gouvernement brésilien a encouragé les investissements dans la production d'alcool et de charbon en fixant l'indice de paiement des emprunts seulement à 55% au lieu de 100%. Ce type de subvention gouvernemental est l'équivalent d'un prêt à taux d'intérêt négatif et augmente considérablement le taux de rentabilité interne des investissements dans le solaire. La fig. 4.11 démontre les effets qu'ont eu les allègements fiscaux relatifs aux investissements sur le taux de rentabilité interne des projets d'énergie renouvelable, c'est à dire sur leur viabilité économique. Des ajustements de la politique financière tels que les allègements fiscaux et les taux d'intérêts favorables sur les emprunts, peuvent jouer un rôle puissant et décisif permettant de créer un climat favorable à l'investissement dans les systèmes d'énergie renouvelable de provenance domestique. De tels systèmes pourront grandement contribuer au bien-être de l'économie nationale en réduisant la facture du pétrole d'importation.

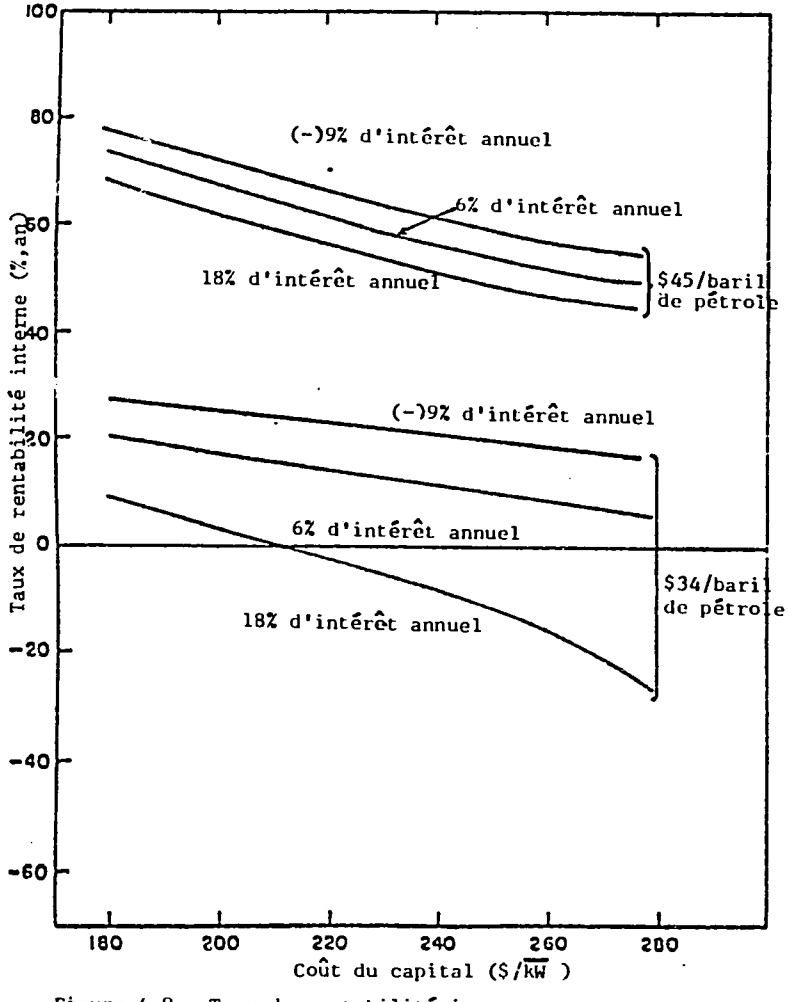


Figure 4.9 Taux de rentabilité interne par rapport aux coûts du capital d'investissement des pompes à chaleur industrielles.

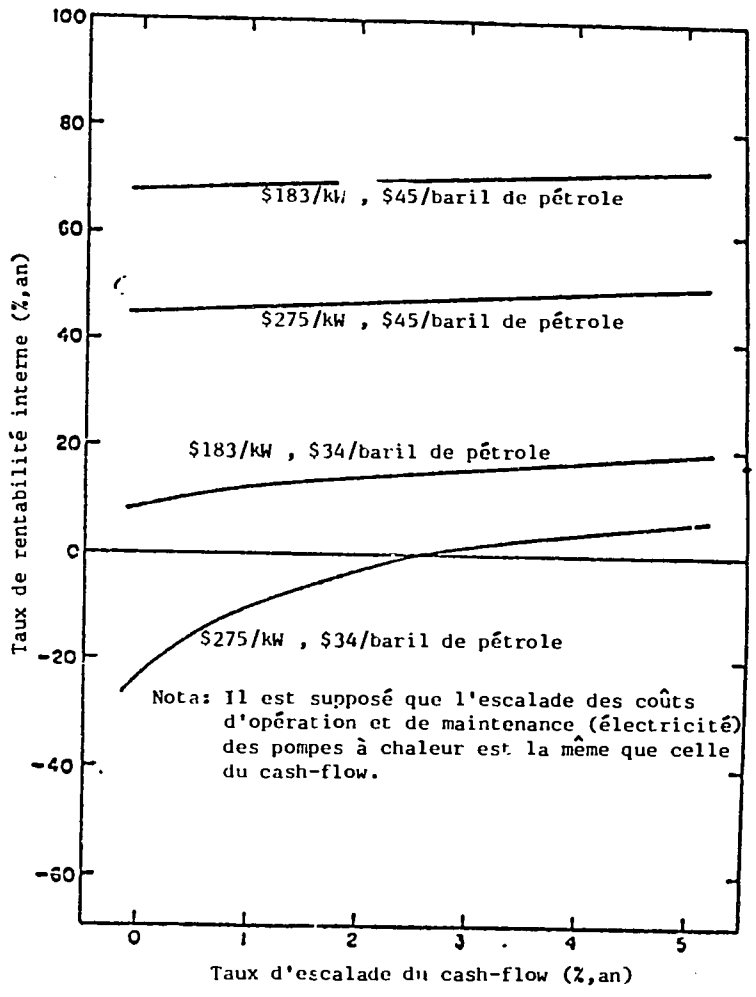


Figure 4.10 Taux de rentabilité interne des pompes à chaleur industrielles par rapport au taux d'escalade du cash flow.

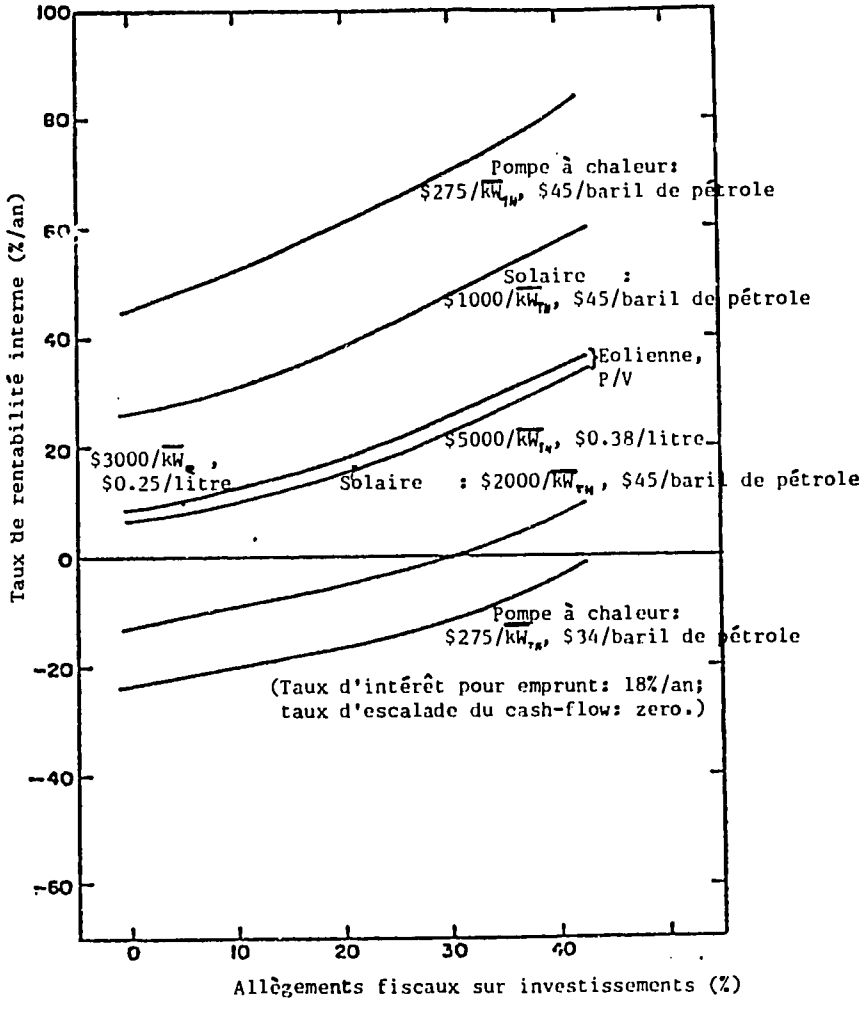


Figure 4.11 Taux de rentabilité interne par rapport aux allègements fiscaux sur investissements

REFERENCES

1. National Energy Balance, Federal Republic of Brazil, Ministry of Mines and Energy, July 1980.

2. Brazilian Energy Model, Version II, Revised and Actualized, Federal Republic of Brazil, Ministry of Mines and Energy, May 1981.

3. Annual Reports 1979-CESP, Light, CPFL, Statistic Anuary-1980, Fundacao Instituto de Geografia e Estatistica.

4. Anuario Estatistico, Brazil Fundacao Instituto Brasileiro de Geographic e Estastistica, 1979.

5. Brazilian Energy Statistics 1979, Ann. Bull. Brazilian Nat. Committee of World Energy Conf., 1979.

6. Comissao Estadual de Energia: Plano de Substituicao de Derivados de Petroleo no Rio Grande do Sul, Secretaria de Energia, Minas e Comunicaoes, p. 13., Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1980.

7. Conselho Estadual de Energia: Parana em Face No Problema Energetico, Companhia Paranaense de Energia (COPEL), Curitiba Parana, October 1980.

8. Comissao Estadual de Energia: PROENERGIA, Programa Catarinense de Energia, Gaplan p. 25; State of Santa Catarina, Gabinete de Planejamento e Coordenacao Geral, Florianorois, Brazil.

9. Statistic Anuary, 1980, Conselho Nacional do Petroleo.

10. R. D. Heap, Heat Pumps, Halsted Div., Wiley, New York, 1979.

11. Heat Pump Water Heater Field Test Data, Interim Report, Div. of Energy Conservation and Rates, Load Management Branch, TVA, Summer 1980.

12. A. Weinstein and G. Van Zuiden, Reducing solar costs with the solar-assisted-Templifier, in Proc. Ann. Meet. Int. Solar Energy Soc., Atlanta, May 1979, Vol. I.

13. J. Forwalter, Waste heat recovery from refrigeration. Food Processing (Dec. 1979).

14. Analysis of the Economic Potential of Solar Thermal Energy to Provide Industrial Heat, Vols. 1-3, COO-2829, Intertechnology Corp., Warranton, VA, Feb. 1977.

15. Survey of the Applications of Solar Thermal Energy Systems to Industrial Process Heat, Vols. 1-3, TID-27348-1, Battelle Columbus Labs., for US ERDA, Jan. 1977.

SECTION 3

LE SECTEUR INDUSTRIEL

3.1 GESTION ENERGETIQUE DANS L'INDUSTRIE

Barry G. Tunnah

1. INTRODUCTION

Dans un grand nombre de pays en développement, l'industrie est le consommateur le plus important de produits pétroliers importés et d'électricité. L'industrie peut aussi consommer de grandes quantités de combustibles non-commerciaux comme le bois et le charbon de bois. Les bénéfices réalisables grâce à une meilleure utilisation de l'énergie par l'industrie peuvent donc être très importants pour les pays en développement. L'utilisation rationnelle de l'énergie permet de réduire l'importation d'énergie, d'économiser les devises étrangères peu abondantes, et ainsi d'accélérer l'ensemble du développement économique.

Selon une idée courante mais erronnée, les pays en développement qui consomment relativement peu d'énergie par rapport aux pays industrialisés, devraient continuer à utiliser cette énergie à des fins essentielles de développement, répondant ainsi aux besoins humains fondamentaux, haussant le niveau de vie des populations rurales et lançant des programmes d'industrialisation. A vrai dire, le fait que le niveau de consommation est bas ne fournit aucune garantie que l'énergie est utilisée à un haut rendement. Un gaspillage important d'énergie peut se produire dans les pays en développement, ce qui arrive d'ailleurs fréquemment. Toutes les utilisations d'énergie, qu'elles soient "essentielles" ou non pour les besoins humains fondamentaux, justifient un examen soutenu.

Il est donc important d'encourager les pays en développement à examiner la consommation d'énergie au niveau des usines, afin de pouvoir identifier les mesures à prendre et les priorités à établir pour la formation de personnel et l'investissement de capital. L'accent devrait être mis sur des mesures à être prises dans l'immédiat afin d'améliorer le rendement énergétique dans les usines, y compris la formation de base des ingénieurs locaux dans les principes et la pratique de l'économie d'énergie.

Si les programmes de gestion de l'énergie sont exécutés correctement, ceux-ci aboutiront à des réductions du niveau de consommation énergétique par certains processus ou usines, mais il faut noter que la baisse de l'utilisation nationale d'énergie en général, n'est pas nécessairement le but recherché. La gestion de l'énergie cherche plutôt à rendre chaque unité d'apport d'énergie plus productive en termes de production de travail utile, libérant ainsi les approvisionnements accroissant d'énergie pour des fins liées à l'expansion et au développement économique.

2. ECONOMIE: BENEFICES POSSIBLES

Le progrès des Etats-Unis sert d'exemple pour donner une idée du taux d'amélioration possible du rendement énergétique. Des objectifs d'amélioration du rendement énergétique ont été développés pour les industries à usage intensif de l'énergie, pour la période allant de l'année de base 1972 jusqu'à Janvier 1980; ces objectifs allaient de 9 à 24%. Les objectifs ont été estimés pour chaque industrie pour inclure des mesures d'économies faisables à la fois techniquement et économiquement. L'objectif équivalent pour l'ensemble des dix industries, calculé en tant que moyenne

Previous Page Blank

pondérée des objectifs individuels, était de 14% environ. A la fin de 1979, l'amélioration actuellement obtenue par les plus grosses consommatrices industrielles d'énergie, était de 15.4%; plusieurs industries ont même dépassé l'objectif fixé pour 1980:

Industrie	Objectif 1980	Progrès à la fin de 1979, %	Différence
Produits chimiques	14	22	+8
Métaux de base	9	8	-1
Raffinage de pétrole	12	15	+3
Pierre, argile, verre	16	13	-3
Papier	20	17	-3
Alimentation	12	15	+3
Métaux fabriqués	24	22	-2
Matériel de transport	16	23	+7
Equipement	15	25	+10
Textiles	22	18	-4

Au cours de cette même période, la production a augmenté d'environ 17%, mais les améliorations du rendement énergétique ont été telles que le taux absolu de consommation d'énergie par ces dix plus importantes branches de l'industrie était en fait plus bas en 1979 qu'en 1972. En termes absolus, l'économie s'élève à plus d'un million de barils de pétrole par jour, évalués à plus de 9 milliards de dollars par an pour les sociétés industrielles.

Ces améliorations du rendement de l'énergie ont été obtenues premièrement grâce à l'application de mesures d'économie coûtant peu ou ne coûtant rien. Ces mesures vont de l'introduction de programmes de prise de conscience de gestion énergétique jusqu'à des améliorations relativement peu coûteuses, que le recours à l'isolement de l'équipement de procédé et l'installation de contrôles améliorés sur les chaudières et autre équipement de procédé à usage intensif d'énergie.

Dans le Royaume Uni, certaines industries ont fixé leurs propres objectifs. Il existe d'ailleurs beaucoup de données disponibles portant sur le succès de sociétés individuelles. Par exemple, sur une période de 10 ans, de 1971 à 1980, la société Imperial Chemical Industries (ICI) a diminué sa consommation d'énergie de 35% par unité de production, une réduction de 10% ayant été obtenue depuis 1978. Pilkingtons, les fabricants de verre, ont amélioré leur rendement énergétique de 20% entre 1974 et 1980.

Le Royaume Uni est peut-être le pays qui a eu le plus de succès pour ce qui est d'encourager la nomination de directeurs de l'énergie dans les usines. Au cours des sept dernières années, le gouvernement a très fortement encouragé l'idée d'un "directeur de l'énergie" et il y a maintenant plus de 8000 directeurs de l'énergie divisés en 70 groupes régionaux ayant un comité de coordination national.

Comme dernier exemple potentiel national pour l'amélioration du rendement énergétique, nous allons faire un bref examen des résultats obtenus à partir d'une étude récente en Tunisie[1] que nous discuterons en plus détaillé plus loin. Parmi les conclusions de cette étude, ont été

---

[1] Etude sur l'Energie Industrielle pour la Tunisie: Rapport Final, Sep 1982, par E/DI Europe Ltd. pour USAID et le Ministère de l'Economie Nationale, Tunis.

apparentes l'absence de comptabilité soigneuse de l'énergie, ce qui a résulté en une absence d'une conscience sur les possibilités de l' économie d'énergie. Il n'y a presque jamais de coordination entre données énergétiques, l'économie et la gestion énergétique. Il a été évident qu'une assez grande amélioration du rendement énergétique peut être obtenue avec peu ou pas d'investissement. Le potentiel d'amélioration varie évidemment d'usine à usine, mais des améliorations typiques de 15 à 20% devraient être obtenues dans les deux ans par la combinaison d'une meilleure gestion et d'investissements de capitaux.

Il faut aussi noter que pour la plupart des pays, l'impact de l'entrée en service d'usines nouvelles peut être très significatif. Dans les pays en développement, des considérations très attentionnées devraient être données sur l'aspect rendement énergétique des avant-projets d'usines nouvelles qui peuvent souvent mieux contribuer à l'effort national d'économie d'énergie que les usines existant actuellement. Ceci est évident lorsqu'on examine la contribution faite par les nouvelles usines à la production du secteur industriel au cours des deux décennies prochaines, comme l'illustre le Tableau A.

Les possibilités d'économie en Tunisie sont illustrées dans le Tableau B. Les économies cumulatives de 1982 jusqu'en 1986 émanant des efforts seuls de la gestion de l'énergie dans les usines actuelles, sont évaluées à 50 million de dollars environ aux prix mondiaux du marché. Les ressources nécessaires à la promotion d'une meilleure gestion de l'énergie, en termes de personnel et d'équipement qui peuvent être justifiées par les 50 millions de dollars, sont évidemment importantes. Mais sans un effort de marque pour concentrer l'attention et les mesures sur les problèmes énergétiques, le potentiel incontestable de l'économie ne sera pas réalisé. D'après notre expérience, cette situation est caractéristique de nombreux pays en développement.

3. APERÇU DU SEMINAIRE

Le Séminaire se concentrera sur le rôle de la gestion de l'énergie dans le secteur industriel, il examinera aussi les possibilités dans d'autres secteurs, comme le bâtiment, le transport et le service de l'électricité.

La Seconde Séance présentera les zones difficiles liées à la demande d'énergie en Afrique de l'Ouest, et fera un examen des demandes d'électricité, de pétrole et de combustibles non-traditionnels, spécialement en ce qui concerne les importations d'énergie. Une discussion par les conférenciers suivra les présentations officielles.

La Troisième Séance présentera les résultats obtenus de travaux préalables dans le domaine de la gestion de l'énergie dans l'industrie d'un certain nombre de pays en voie de développement pour illustrer, au moyen d'études actuelles, les bénéfices possibles d'une gestion efficace de l'énergie. La Quatrième Séance poursuivra ce thème avec des études de cas dans les secteurs du transport, du bâtiment et du service de l'électricité.

La Cinquième Séance est une revue des obstacles et encouragements liés à la conservation de l'énergie. Cette séance comprendra une discussion de questions telles que la tarification de l'énergie, les aspects régulatoires,

EXHIBIT B: PROJECTED DEMANDS

TABLEAU B: DEMANDE D'ENERGIE EN PERSPECTIVE

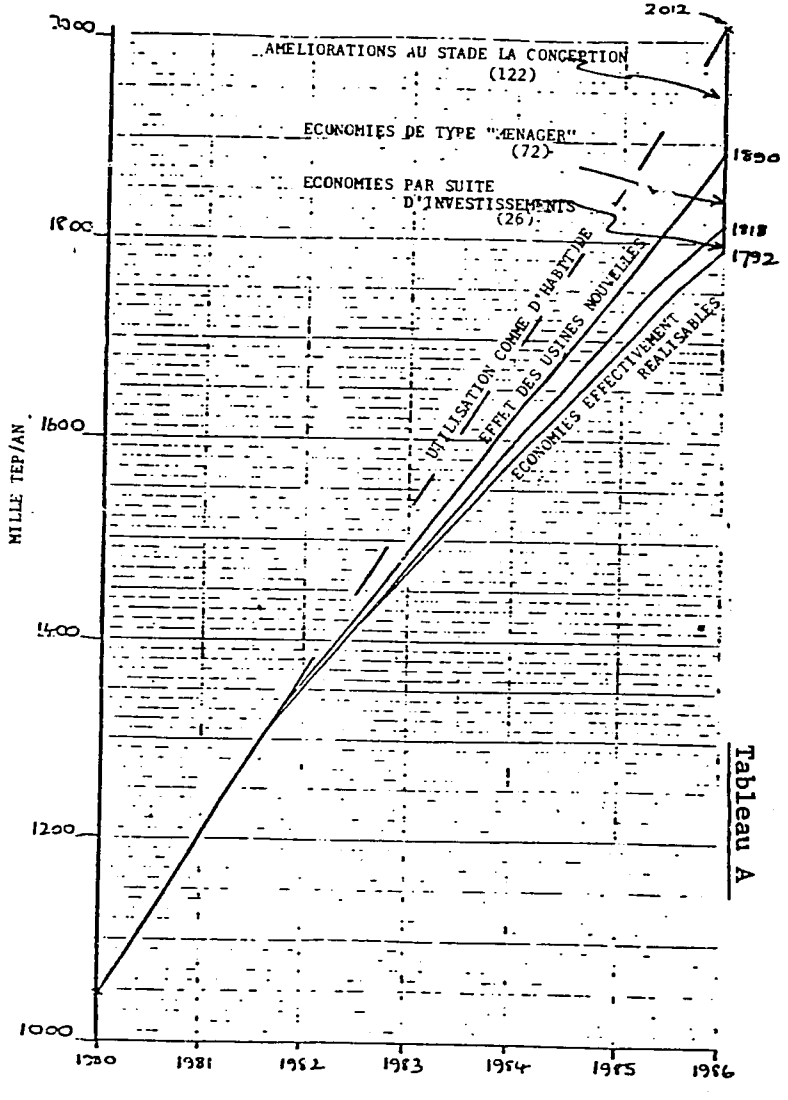


Tableau A

TABLEAU A: AGE DES USINES ET LEUR ENTREE EN SERVICE

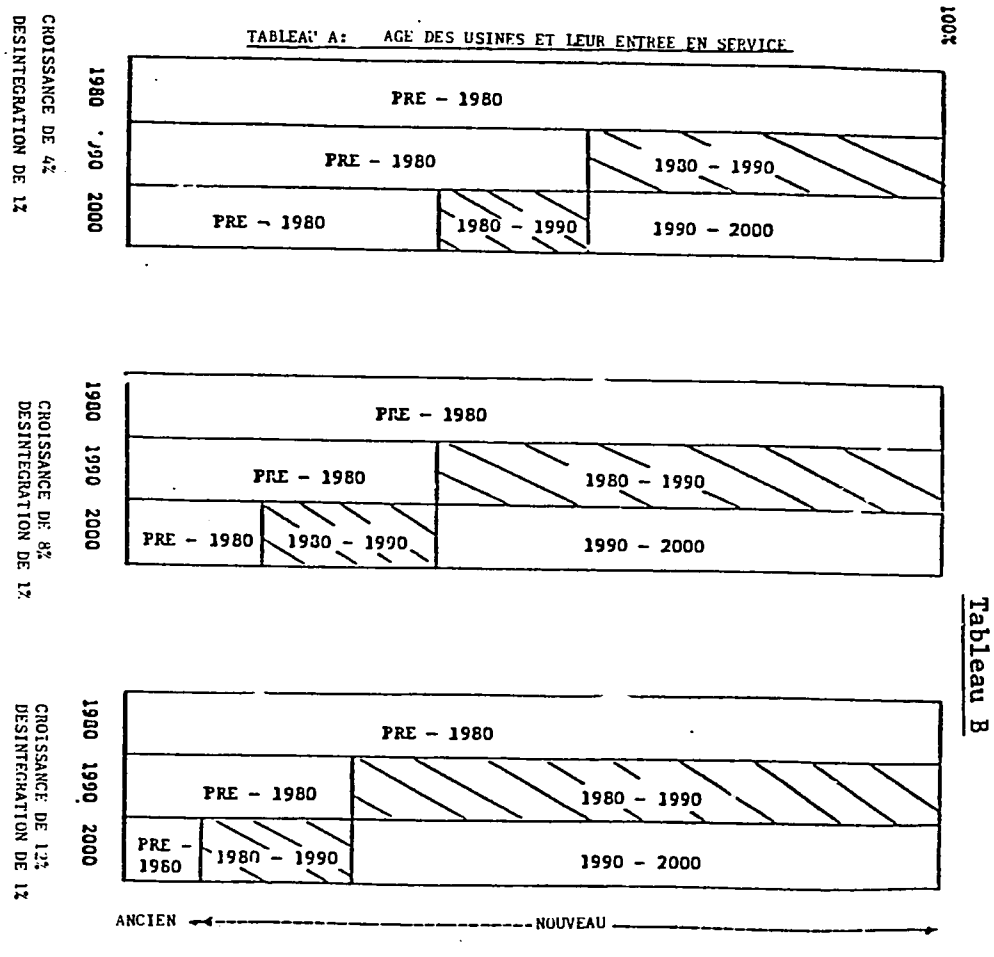


Tableau B

l'information technique, les programmes de formation, les besoins importants en investissements, etc.

La Sixième Séance s'occupera du rôle des agences donnatrices en ce qui concerne leur soutien de projets pour la conservation de l'énergie. Une discussion par les conférenciers suivra les présentations officielles.

Ayant fait une introduction approfondie de la conservation de l'énergie, et ayant examiné certains des facteurs liés à la politique énergétique, qui peuvent réaliser les programmes d'économie d'énergie, la Septième Séance entrera dans les détails d'audits énergétiques d'installations industrielles et expliquera les procédures utilisées pour établir les schémas d'utilisation de l'énergie et pour identifier les possibilités d'économie d'énergie. Des exemples de l'emploi de micro-ordinateurs pour la gestion de l'énergie seront donnés (à la fois pour le stockage de la base de données et son maniement, et pour les calculs). La Huitième Séance poursuivra ce thème.

Afin de renforcer les techniques d'audit et les procédures couvertes dans les séances précédentes, la Neuvième Séance consistera en une visite à l'usine de traitement du phosphate de l'OTP. Les participants du séminaire seront répartis en plusieurs groupes et effectueront eux-mêmes du travail d'audit, tel que le recueil de données de fonctionnement de l'installation même, et le mesurage de l'efficacité de la combustion et des pertes de chaleur à l'aide d'instruments portatifs. Le lendemain matin, on effectuera un examen de ce travail pratique.

La Dixième Séance sera consacrée à une discussion technique détaillée du potentiel pour une utilisation efficace de l'énergie dans le service de l'électricité, alors que les Onzième et Douzième Séances s'occuperont des aspects techniques détaillés de la gestion de l'énergie dans les secteurs du bâtiment et du transport. Une visite pratique est projetée pour la Treizième Séance pour démontrer la conservation de l'énergie dans le secteur du bâtiment.

La Quatorzième Séance couvrira l'analyse économique de mesures prises pour parvenir à un bon rendement énergétique au niveau micro, y compris l'emploi de micro-ordinateurs pour les calculs de remboursement d'investissements de capitaux. Cette séance discutera aussi du rendement de la conservation du point de vue national, reliant ainsi le développement de politiques énergétiques avec les analyses économiques au niveau de l'usine.

La Quinzième Séance qui sera la dernière, comportera un débat sur les conclusions et recommandations des participants, et sera utilisée pour établir le consensus d'opinions en ce qui concerne les mesures à poursuivre.

TROISIEME SEANCE: LE ROLE DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE

1. ETUDE DE CAS: PROJET SUR L'ENERGIE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL EN TUNISIE

Les conclusions présentées ici illustrent la situation typique dans les pays en développement. Elles sont destinées à démontrer de quelle façon on peut améliorer le rendement énergétique au moyen d'une étude structurée correctement. D'après notre expérience, les remarques s'appliquent de manière générale à de nombreux pays; elles ne sont pas particulières à la Tunisie.

1.1 Objectifs du Projet

Ce projet a été effectué dans le but d'aider le Gouvernement Tunisien à améliorer sa planification énergétique et de stimuler l'amélioration du rendement énergétique dans le secteur industriel. Les objectifs de base étaient:

(1) D'améliorer la collecte de données énergétiques dans l'industrie, en commençant par la collecte de données de base dans chaque usine, afin d'être muni de données exactes et convenables sur lesquelles des programmes et des politiques d'investissement et de règlementation pourraient être basées.

(2) D'analyser les données prises lors de certain audits afin d'identifier les possibilités d'économies d'énergie.

(3) De former le personnel Tunisien (particulièrement au niveau de l'usine) dans la pratique d'audits énergétiques d'usines et dans l'exécution d'améliorations du rendement énergétique au sein de l'usine.

1.2 Cours de Formation pour la Conservation dans l'Industrie

Deux périodes de cours de formation ont été exécutées pour un total de 21 ingénieurs venant d'installations industrielles, de la compagnie nationale d'électricité et de gaz, et de la compagnie nationale des pétroles. Le cours a consisté de conférences sur les principes et techniques de la conservation de l'énergie dans l'industrie, et d'une série de visites d'un jour à des installations industrielles afin de compléter les conférences par des démonstrations pratiques des principes engagés et par l'utilisation d'instruments de diagnostique.

1.3 Travail d'Audit

Un élément intégral de la formation a été l'exécution d'audits par les ingénieurs Tunisiens dans des usines sélectionnées. Les participants ont été divisés en petits groupes de 4 ou 5 ingénieurs, et ces groupes ont entrepris des tâches spécifiques dans les usines, comme d'effectuer des balances de matériel et des bilans calorifiques autour de fours et de chaudières. Pendant toute la durée du cours, priorité égale a été donnée à la formation des ingénieurs et à l'identification des possibilités d'économies d'énergie. Des rapports complets sur le travail d'audit ont été préparés et

les conclusions de ces rapports ont été délibérées avec les représentants des usines. Il a été possible de développer des recommandations pour toutes les usines afin que des mesures immédiates soient prises en vue de l'amélioration du rendement énergétique.

1.4 Conclusions Générales du Traval d'Audit

D'après les observations faites lors des visites d'installations faisant partie d'un assortiment d'industries, plusieurs commentaires doivent être faits sur la gestion de l'énergie en général. Mis à part quelques exceptions, le niveau général du suivi et du contrôle de la consommation et de la gestion de l'énergie est bas; un contrôle plus stricte des opérations pourrait conduire à court terme à des économies d'énergie importantes. Par exemple:

(1) Il y a absence de comptabilité rigoureuse en matière d'utilisation de l'énergie. Il en résulte l'absence de prise de conscience en ce qui concerne les possibilités d'économies d'énergie.

(2) Lorsque les données sont rassemblées régulièrement, il arrive souvent que les rapports comportent des erreurs. Il est indispensable que les données soient vérifiées de façon rigoureuse.

(3) Les données relatives à l'énergie manquent souvent, et aucune tentative n'est faite pour relier la consommation d'énergie à la production. La relation énergie/production constitue un préalable fondamental à l'amélioration de l'utilisation de l'énergie.

(4) C'est au niveau de la Direction Générale que doit se manifester un engagement ferme en faveur d'une gestion efficace de l'énergie.

(5) Les données sur l'énergie et sur la production sont souvent indiquées en diverses unités; ainsi peut régner une confusion entre des unités diverses telles que litre, kilogramme, tonnes, mètres cubes, etc. Dans certains cas, les données sont souvent enregistrées sans que mention soit faite de leur unité ce qui complique les choses encore bien plus. Il est recommandable de préparer régulièrement des rapport complets sur l'énergie en ayant soin de convertir toutes les unités en une seule unité commune à titre de comparaison (par ex., kilocalories, TEP, etc.).

(6) Par occasions, on note une confusion sur la qualité du fuel oil utilisé et son pouvoir calorifique. Le contrôle de qualité à l'achat du fuel oil semble ne pas exister, et le contrôle de la quantité de fuel oil à la livraison laisse trop à désirer.

(7) Lorsqu'on pose des questions au personnel de l'usine sur la performance ou l'efficacité de l'équipement, ce furent les caractéristiques techniques et non l'état de fonctionnement à un moment donné qui furent indiqués en guise de réponse.

(8) Un mesurage exact est important pour pouvoir établir les priorités conduisant à une amélioration de l'efficacité énergétique, mais la norme de qualité de l'instrumentation rencontrée est souvent médiocre.

(9) Une attitude interrogatrice de la part des ingénieurs de l'usine est généralement absente et une approche analytique envers les données sur l'énergie est manquante.

(10) Un rapport mensuel régulier, complet et fiable, sur la consommation de l'énergie devra toujours être préparé sous une forme qui permettra de faire facilement des comparaisons sur l'efficacité énergétique de mois en mois.

(11) Le niveau de qualité de la maintenance et de l'entretien "ménager" doit être amélioré dans plusieurs usines pour améliorer la performance opératoire et pour contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Des conditions de travail dans un environnement sûr et bien nettoyé sont essentielles pour l'opération efficace de l'usine.

(12) Une absence générale d'ingénieurs qualifiés pour identifier et exécuter les mesures d'économies d'énergie est évidente.

(13) Il y a une absence générale de renseignements en ce qui concerne les calculs de base et les données normales de techno-génie.

(14) Par dessus tout, il y a une absence très répandue de centralisation des données énergétiques, de la conservation d'énergie, et de la gestion de l'énergie. Une définition claire des attributions en ce qui concerne le sujet de l'énergie est nécessaire et nous recommandons la nomination d'un responsbale de l'énergie pour chacune des usines.

Il faut se rendre compte que les conclusions énoncées ci-dessus pour la Tunisie sont tout à fait caractéristiques des observations faites dans un nombre de pays en développement; ces observations peuvent d'ailleurs souvent s'appliquer aussi à des pays industrialisés. Ces conclusions ne s'appliquent pas seulement à la Tunisie; la situation est fréquemment pire dans de nombreux pays.

1.5 Conclusions Spécifiques d'Usines

Les conclusions et recommandations ont été examinées en détail dans une série de rapports complets d'audits effectués dans des usines sélectionnées. Les possibilités d'amélioration du rendement énergétique varient évidemment d'usine à usine; mais il devrait être possible d'obtenir des améliorations de 15 à 20% dans une moyenne de 2 ans au moyen d'une gestion plus efficace et d'investissements de capitaux modérés.

Une grande amélioration pourrait être faite dans certaines usines grâce à peu ou pas d'investissements. Par exemple, de hauts taux d'excès d'air sont fréquemment trouvés sur les chaudières et les fours. Dans la plupart des cas, nous croyons que de simples ajustements pourraient économiser au moins autant que 10% du combustible. Dans beaucoup d'usines, un mauvais équipement contribue à un bas rendement énergétique.

Les rapports préparés pour chacune des 7 usines comportent des recommandations concernant l'amélioration du rendement effectif, telle qu'une amélioration de l'équipement, un isolement supplémentaire des canalisations chaudes et des réservoirs, un meilleur contrôle des rapports combustible à

air, et l'installation de systèmes de récupération de chaleur perdue (voir Tableau D).

1.6 Recueil de Données Energétiques

Afin de rassembler des données complètes sur la consommation d'énergie dans le secteur industriel, il avait été décidé d'obtenir les données d'approvisionnement chez les distributeurs de produits pétroliers, de gaz et d'électricité. Les données sur la demande ont été obtenues chez 60 consommateurs industriels. Les données concernant la consommation énergétique et la production industrielle dont dispose l'Institut National des Statistiques (INS) ont aussi été examinées. Des exemples des données recueillies auprès des usines sont donnés au Tableau E.

1.7 Emploi de l'Energie par le Secteur Industriel

Un examen des données obtenues des usines et des distributeurs révèle que l'échantillon de 60 usines représente plus de 80% de l'énergie consommée dans le secteur industriel. En ce qui concerne les combustibles utilisés par les grandes usines, le taux est considérablement plus élevé; en ce qui concerne le fuel lourd, l'échantillon représente 95% et pour le gaz naturel 98% de l'usage fait de ces combustibles (et d'un peu moins en ce qui concerne l'électricité) par l'industrie (voir Tableaux F et G).

Une estimation de l'énergie consommée dans les secteur industriel a été faite pour l'année 1980 avec le résultat suivant:

	10^3 TEP	%
Matériaux de construction	417.1	39.8
Produits chimiques	96.4	9.2
Mécanique, électrique, métallurgie	166.1	15.8
Extraction	178.9	17.1
Textiles	42.9	4.1
Papier	44.7	4.3
Alimentation	89.3	8.5
Divers	12.1	1.2
	1047.5	100.0

Il a aussi été estimé que l'industrie représente au moins un tiers de la consommation nationale de combustibles commerciaux, et entre 25 et 30% de la demande nationale totale d'énergie.

Quoique l'enquête ait englobé les 60 usines les plus importantes, nous pensons que le schéma énergétique tiré de ce projet représente le secteur tout entier. En tout cas, on peut conclure que les prises de mesures initiales et le travail au niveau de l'usine dirigés vers un relativement petit nombre de grands consommateurs d'énergie pourraient avoir un impact significatif sur la situation énergétique nationale. Une grande priorité devrait être donnée aux règlements et aux programmes d'amélioration de l'efficacité des usines faisant le plus grand emploi de l'énergie.

Le pourcentage du prix de vente représenté par le prix de revient de l'énergie a été calculé pour les produits principaux (voir le Tableau H). D'autres

Tableau D

TABLEAU D: RESUME DES RESULTATS-- TUNISIE

	ENTRETIEN DU TYPE "MENAGER"	INVESTISSEMENTS A PETITE ECHELLE	INVESTISSEMENTS A GRANDE ECHELLE
ACIER	o AMELIORATION DU NETTOYAGE ET DE LA SECURITE DU SITE o MISE EN PLACE D'UN BON SYSTEME POUR LE RECUEIL DES DONNEES o INSTAURER LE POSTE DE DIRECTEUR D'ENERGIE o AMELIORER LA MAINTENANCE DES INSTRUMENTS ET DU BRULEUR o REGULATION DE LA COMBUSTION DANS CHAUDIERES ET BRULEURS	o MISE EN PLACE D'UNE REGULATION AUTOMATIQUE SUR L'AIR/FUEL DU CHAUFFAGE DE COULEES (PERIODE DE RECUPERATION DES INVESTISSEMENTS: MOINS DE DEUX ANS)	o MISE EN PLACE DE RECUPERATEURS DE CHALEUR DEZ GAZ D'ECHAPPEMENT DANS CONDUITS SUR FOURS DE RECHAUFFE (ECONOMIES DE 12.5%, PERIODE DE RECUP. DES INVESTISSEM.: 2 ANS)
SUCRE	o MISE AU POINT DE RAPPORTS MENSUELS SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE o AMELIORER OPERATIONS DE STOCKAGE DES COMBUSTIBLES ET DES SYSTEMES DE REGULATION (EX. TEMPERATURE)	o RECUPERATION DE LA CHALEUR DU VIDE-VITE DE LA CHAUDIERE (TEMPS DE REMBOURSEMENT: MOINS DE 2 ANS) o AMELIORER RECUPERATION DE CHALEUR DU CONDENSAT (PERIODE DE REMBOURSEMENT: MOINS DE 2 ANS) o MODIFICATION DU SYSTEME D'ALIMENTATION DE VAPEUR A BASSE PRESSION VERS DESAERATEUR	(AUCUN IDENTIFIE)
CIMENT (HUMIDE)	o AMELIORATION NETTOYAGE ET MAINTENANCE o MISE EN PLACE DE PROGRAMMES DE SURVEILLANCE DE L'ENERGIE (AMELIORER FIABILITE DES DONNEES) ET AMELIORER GERANCE ENERGETIQUE o REDUCTION TENEUR EN EAU DU COULIS DE CIMENT (20% ECONOMIES) o REPARATION INSTRUMENTS DE REGULATION	o REMPLACEMENT DU CHAUFFAGE DU FUEL OIL A L'ELECTRICITE PAR CHAUFFAGE A LA VAPEUR (PERIODE REMBOURSEMENT: 1 AN)	(USINE ANCIEN MODELE, RESERVES DES CARRIERES SONT LIMITEES; TECHNOLOGIE PERIMEE)
CIMENT (SEC)	o AMELIORER FORMAT DES RAPPORTS MENSUELS o ABSENCE DE GERANCE DE L'ENERGIE	o AMELIORER OPERATION DE REFROIDISSEMENT DES SCORIES (PERIODE DE REMBOURSEMENT: NON DETERMINE)	(USINE NOUVELLE, POURVUE DE TECHNOLOGIE AVANCEE)
BRIQUES	o MISE EN PLACE D'UN BON SYSTEME POUR RECUEILLIR LES DONNEES o ABSENCE DE GERANCE DE L'ENERGIE (INSTAURER LE POSTE DE DIRECTEUR DE L'ENERGIE) o MODIFICATION DE L'HORAIRE DES OPERATIONS DE L'USINE (40 - 50% D'ECONOMIES) o ELIMINATION DE L'UN DES 2 VENTILATEURS o REDUCTION DES DEGATS ET CASSE	o RECYCLAGE DES GAZ D'ECHAPPEMENT DES FOURS (KILNS POUR BRIQUES) ALLANT VERS SECHEURS (12% ECONOMIES; PERIODE DE REMBOURSEMENT: MOINS DE 2 ANS)	(USINE NOUVELLE MAIS DEPOURVUE D'INSTRUMENTATION ADEQUATE)
PHOSPHATES	o REDUIRE DEGATS MATERIELS o AMELIORATION DE MAINTENANCE ET DES HORAIRES o MISE EN PLACE D'UN BON SYSTEME DE RECEUIL DES DONNEES o ETUDE DU TRANSPORT FERROVIAIRE ET DEGATS POTENTIELS o AMELIORATION DE LA REGULATION DU STOCKAGE ET MANIEMENT DU COMBUSTIBLE (FUEL OIL)	o REDUCTION DE L'EAU DANS LA PLAQUE DE FILTRAGE A L'ENTREE DU SECHEUR o MODIFICATION DU SYSTEME DE REGULATION POUR LE MESURAGE DIRECTE ET REGULATION DE LA TEMPERATURE DE SORTIE DU PHOSPHATE.	(AUCUN IDENTIFIE)
PAPIER	o MISE EN PLACE D'UN BON SYSTEME DE RECUEIL DES DONNEES o AMELIORATION NETTOYAGE ET MAINTENANCE o ELIMINATION DES FUITES VAPEUR	o BRULEURS NEUFS POUR CHAUDIERES A LIQUEUR NOIRE. o ISOLER CONDUITS DE VAPEUR OU DE CARBURANT, ETC. o AMELIORER LA RECUPERATION DE CHALEUR DU CONDENSAT	ELIMINATION DE LA DETENTE DE VAPEUR DANS LA CENTRALE ELECTRIQUE; INSTALLATION D'UNE TURBO-GENERATRICE
BRIQUES	o AMELIORATION DU NETTOYAGE ET DE LA MAINTENANCE o REDUCTION DES DEGATS o MISE EN PLACE D'UN BON SYSTEME DE RECUEIL DES DONNEES o ELIMINATION DES FUITES DE GAZ DE CARNEAU o AMELIORATION DE LA REGULATION DE COMBUSTION DES CHAUDIERES	o MODIFICATION DU SYSTEME DE CABLAGE POUR PERMETTRE LA FERMETURE SELECTIVE DES MOTEURS, DES APPAREILS DE BATTAGE o MODIFICATION DU RECYCLAGE DES GAZ VENANT DES FOURS (KILNS POUR BRIQUES) DANS LE BUT DE MIEUX RECUPERER LA CHALEUR	(AUCUN IDENTIFIE)

Tableau II

SOUS-SECTEURS/USINES: MATER.CONSTR.	NO. D'USINE	DONNEES DE SORTIE: ANNEE	PRODUIT PRINCIPAL		ELECTR.	DONNEES SUR L'USINE — DONNEES SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE — TEP: GAZ NATUREL	GASOIL		FUEL OIL LEGER	LOURD	divers	ENERGIE TOTALE	CONSOMMATION SPECIFIQUE: TEP/T
Ciment													
o	8	1980	436618 T	scories	13450	-	-	-	-	74133	-	87583	0.201
o	A	1980	721350 T	scories	23254	-	1139	-	-	66554	-	90947	0.126
o	G	1980	482500 T	scories	22516	39892	689	-	-	-	-	63097	0.131
o	51	1981	769624 T	scories	30316	-	780	-	-	68276	9	99381	0.129
			2,410,092 T		89,536	39,892	2,608	0	0	208,963	9	341,008	0.141
Briques													
o	C	1980	97147 T	briques	2312	-	204	-	-	6172	-	8688	0.089
o	07	1980	178223 T	briques	3686	-	904	-	-	12353	-	16943	0.095
o	09	1980	155540 T	briques	2272	-	579	-	-	5728	-	8579	0.055
o	F	1980	89302 T	briques	1200	5346	534	-	-	-	-	7080	0.079
o	23	1981	55360 T	briques	641	-	307	-	-	3131	-	4079	0.074
o	24	1981	55000 T	briques	860	-	271	-	-	2609	-	3740	0.068
o	34	1981	n.a.	briques	2391	-	-	-	2777	4576	1767	11511	n.a.
o	37	1980	39985 T	briques	642	-	17	-	-	1571	-	2230	0.056
o	48	1981	30000 T	briques	570	-	123	-	-	1761	-	2454	0.082
			700,557 T		14,574	5,346	2,939	0	2,777	37,901	1,767	65,304	0.077
o	35	1981	4500 T	briques réfract.	344	-	51	-	-	789		1184	0.263
Verre													
o	15	1980	17656 T	conteneurs de verre	1956	171	386	-	-	4520	1166	8199	0.464
Divers													
o	03	1981	64500 T	chaux	341	-	26	-	-	-	3082	3449	0.053
o	26	1980	56000 T	chaux	345	-	37	-	-	-	2975	3357	0.060
o	25	1981	835000 M^2	tuiles	771	-	122	300	-	4061	-	5854	(0.007 TEP/M^2)
o	34	1980	3600 T	porcelaine	334	-	30	1714	-	-	-	2078	0.577
o	06	1980	131462 T	prod. pour béton armé	826	-	148	28	-	1741	-	2743	0.021
o	22	1981	8209 T	plâtre	169	-	90	-	-	210	-	469	0.057
o	28	1980	22100 T	tuiles & tuyaux d'amiante	956	-	-	385	-	-	-	1341	0.061
o	29	1981	28000 T	tuyaux de ciment & amiante	1015	-	47	-	613	-	-	1675	0.060
TOTAL UTILISATION ENERGETIQUE PAR SOUS-SECTEUR					111,167	45,409	6,484	3,027	3,390	258,185	8,999	436,461	

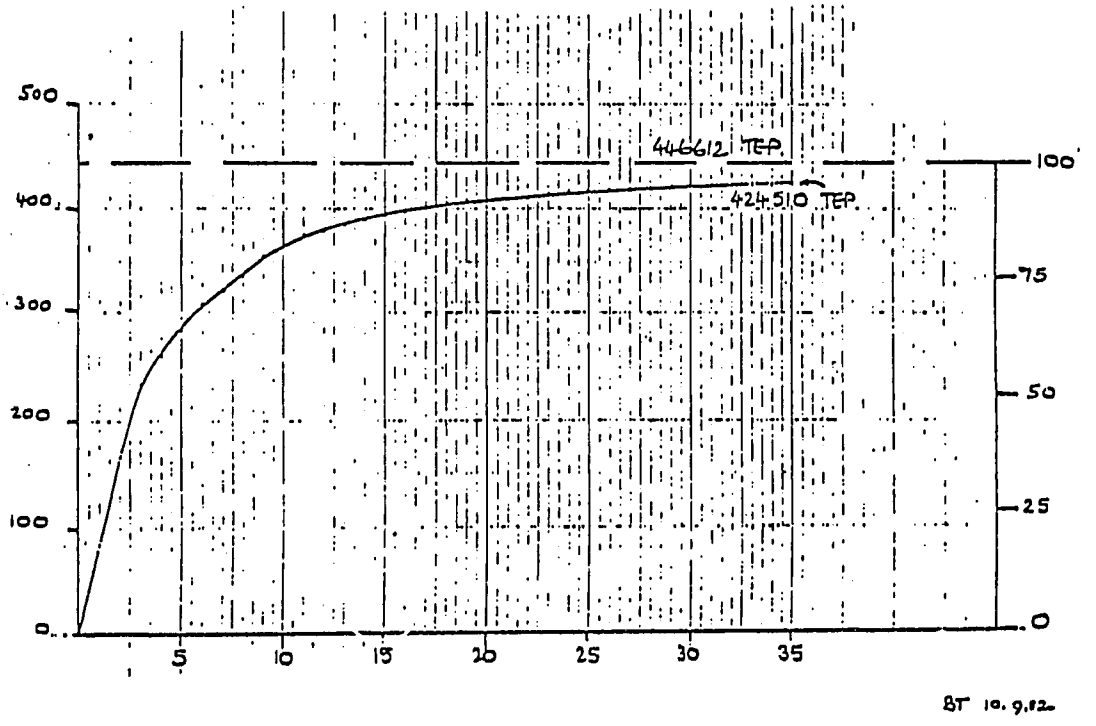
Tableau E (cont.)

SOUS-SECTEURS/USINES		NO. D'USINE	DONNEES DE SORTIE ANNEE	QUANTITE	PRODUIT PRINCIPAL	DONNEES SUR LA CONSOMMATION ENERGETIQUE - TEP ELECTR.	GAZ NATUR.	GASOIL	F.O.D.	F.O. LEGER	F.O.LOURD	DIVERS	TOTAL ENERGIE	CONSOMMATION SPECIFIQUE
Produits chimiques	o	01	1900	70148 T	SSP & engr. mélangés	43	-	89	-	-	-	3	515	0.007
	o	H	1980	317416 T	TSP	2159	-	-	-	-	22030	-	24189	0.076
	o	38	1980	-	TSP, acides sulph. et phosph., engr.	2319	12063	158	133	-	-	-	14673	-
	o	33	1981	418074 T	TSP	72	-	225	-	-	17130	-	17427	0.042
	o	39	1981	514974 T	DAP	2547	12580	154	-	-	-	-	15281	0.030
	o	40	1980	62611 T	MAP	571	707	-	-	-	-	-	1278	0.020
	o	32	1980	59965 T	engrais mélangés	935	-	129	-	-	1966	-	3030	0.051
				1,524,033	engrais mélangés & produits de même catégorie	9,026	25,350	755	133	-	41,126	3	76,393	0.135
	o	41	1980	19730 T	fluorure d'alum.	1958	3072	63	-	-	-	-	5093	0.258
	o	36	1981	-	gaz industriels	1696	-	-	-	-	-	957	2653	-
SOUS-SECTEUR TOTAL						12,680	28,422	818	133	-	41,126	960	84,139	
MECANIQUES, METALLURGIQUES, ELECTRIQUES														
Acier de base	o	0	1980	177937 T	barres fer	30933	-	414	4025	-	21629	76480	133481	0.750
Divers														
	o	31	1980	2847 T	câbles elec.	534	-	8	100	-	-	1	643	0.226
	o	19	1980	120000	cylindres p. gaz	216	-	-	-	-	-	64	280	(2.3 TEP/1000 cyl.
	o	05	1980	19200 T	plomb	1306	-	-	421	1580	-	5021	8328	0.434 à gaz
	o	04	1980	70331	art. ménagers	924	-	39	318	-	868	12	2161	(0.031 TEP/unit
	o	11	1980	8777	montage autos, camions, bus	536	-	-	547	-	-	-	1083	(0.159 TEP/unit
	o	02	1980	2300 T	acier coulé	192	-	28	154	-	-	322	696	0.290
	o	42	1980	4787 T	coulages fer & acier	1504	-	-	354	-	-	582	2440	0.510
	o	44	1980	-	ferblanterie, install. ménag.	1270	-	-	95	290	-	9	1664	-
TOTAL DU SOUS-SECTEUR						37,415	-	489	6,014	1,870	2..497	82,491	150,776	

SOUS-SECTEUR/USINES		DONNEES DU SORTIE NO. D'USINE	ANNEE	QUANTITE PROD.PRINCIP		DONNEES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE - TEP ELECTR		GASOIL	F.O.D.	FUEL OIL LEGER	LOURD	DIVERS	TOTAL ENERGIE	CONSOMMATIONS SPECIFIQUE
MINES	o	J	1980	4328667 T	roches phosph enrichies	40703	-	7852	1250	-	92150	-	141955	0.033
TEXTILES	o	11	1980	13.6×10^6m	textiles fins	106	-	-	191	-	5672	36	6005	(0.442 TEP/1000 metres
	o	12	1980	16.1×10^6m	textiles mi-finis	2550	-	-	32	-	2490	193	5265	(0.327 "
	o	43	1980	-	tissus,fil	2365	-	-	-	11	591	-	2967	-
TOTAL SOUS-SECTEUR						5,021	-	-	223	11	8,753	229	14,237	
PAPIER		I	1980	23808 T	papier	15546	-	127	259	-	27301	-	43233	1.816
CONDITIONNEMENT ALIMENTATION														
Produits laitiers	o	10	1980	41×10^6L	pasteur.lait yaourt	1657	-	316	13	-	1550	5	3541	(86 TEP/10^6 litres)
	o	17	1980	56×10^6L	pasteur. lait fromages,yaour	1328	-	267	47	-	974	8	2624	(47 TEP/10^6 litres)
						2,985	-	583	60	-	2,524	13	6,165	(35 TEP/10^6 litres)
Biscuiteries, boulangeries	o	20	1981	2210 T	biscuits	228	29	-	-	-	-	-	257	0.116
	o	30	1980	3200 T	pain, gâteaux (farine)	24	-	51	101	-	-	-	176	(0.055 TEP/t FARINE)
						252	29	51	101	-	-	-	433	-
Sucre	o	E	1980	60615 T	sucre	209	-	-	26	20	16296	509	17060	0.281
Boissons	o	45	1980	-	bière, boissons non-alcoholisées glacés	1444	-	295	53	-	1758	43	3593	
	ooo	46	1981	1.8×10^6L	boissons alcoholisées	59	-	28	19	-	827	4	937	
						1,503	-	323	72	-	2,585	47	4,530	
Divers	o	21	1981	539 T	chocolat	163	-	-	147	-	-	-	310	0.575
	o	27	1981	3704 T	concentr.tomate	141	-	-	-	-	657	-	798	0.215
	o	47	1980	-	conserves	147	-	171	-	-	999	-	1317	-
	o	49	1980	73948 T	farine, semoule	1543	-	56	19	-	-	-	1618	0.022
	o	50	1981	9291 T	couscous	492	-	-	-	21	978	-	1491	0.160
TOTAL SOUS-SECTEUR						7,435	29	1,184	425	41	24,039	569	33,722	
DIVERS	o	08	1980	8200 T	art.ménagers	1519	-	66	-	-	-	10	1595	0.195
	o	16	1980	160000	pneus	802	-	-	-	24	1667	5	2498	(15.6 TEP/1000 units
						2,321	-	66	-	24	1,667	15	4,093	

Tableau E (cont.)

TABLEAU F: CONSOMMATION DE FUEL OIL LOURD - CUMULEE



BT 10.9.82

PIECE D'APPUI G: CONSOMMATION D'ELECTRICITE CUMULEE

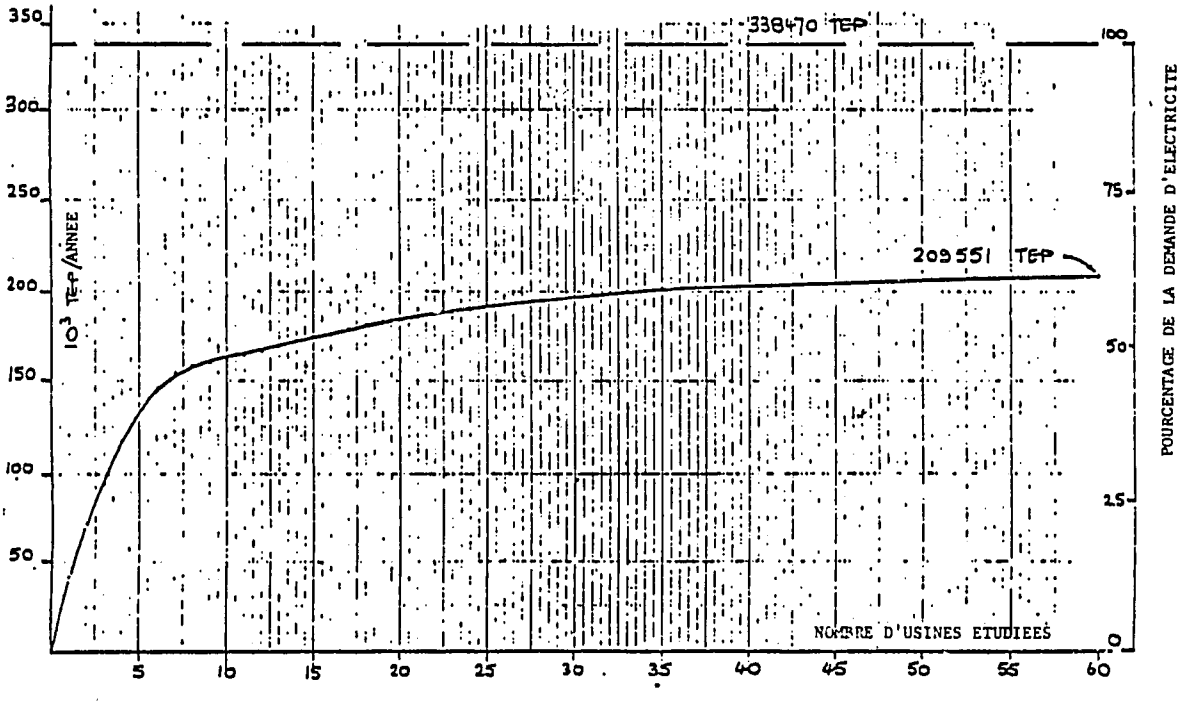


Tableau H
Tableau I

TABLEAU H: COUT DE L'ENERGIE PAR RAPPORT AU PRIX DE VENTE

Produits:	Coût de l'énergie/prix de vente (%):
Acier (barres de renforcement)	35
Chaux	31
Plâtre	28
Ciment	24 - 25
Briques	24
Bouteilles en verre	18
Papier	17
Roche phosphatée enrichie	12
Sucre	8
Couscous	7
TSP	5
Lait	3
Pain	3
Concentré de tomates	3
DAP	2
Articles ménagers	2
Textiles	2
Farine	1
Camionettes	0.3

Source: E/DI Europe Ltd., d'après des données obtenues de la Tunisie (1980, 1981)

TABLEAU I: CONSOMMATION D'ENERGIE ET PRODUCTION PAR EMPLOYE

		Employés	Consommation d'énergie TEP/employé	Production annuelle tonnes/employé
I. MAT. DE CONSTRUCTION:				
Ciment:	o	650	135	672
	o	650	140	1110
	o	540	117	894
	o	511	194	1506
		2351	145	1025
Briques:	o	220	39	442
	o	500	34	356
	o	250	34	622
	o	250	28	357
	o	145	28	382
	o	173	22	382
	o	700	16	---
	o	96	23	417
	o	150	16	200
		2484	26	393
Verre:	o	508	36	35
Autres:	o	150	23	430
	o	130	26	431
	o	278	21	---
	o	283	7	13
	o	1130	2	116
	o	96	5	86
	o	310	4	71
	o	150	11	190

II. PROD. CHIMIQUES:				
	o	230*	2	305
	o	570	42	557
	o	600	24	---
	o	490	36	853
	o	110	28	545
	o	555	28	928
	o	75	17	835
	o	141	36	140
	o	170	16	---
III. PROD. MECANIQUES, METALLURGIQUES, ELECTRIQUES:				
Acier	o	2400	56	74
Autres	o	174	4	16
	o	420	1	--
	o	530	16	36
	o	1000	2	--
	o	1600	1	--
	o	404	2	6
	o	580	4	8
	o	900	2	--
IV. MINES:	o	13500	11	321
V. TEXTILES:	o	700	9	--
	o	970	5	--
	o	950	3	--
		2620	5	
VI. PAPIER	o	1700	25	14
VII. COND. ALIMENTATION:				
Laitiers	o	327	11	--
	o	435	6	
Pain, bisc.	o	128	2	17
	o	48	4	--
Sucre	o	435*	39	139
Boissons	o	970	4	--
	o	56	17	--
Autres	o	64	5	8
	o	108	7	34
	o	300	4	--
	o	220	7	336
	o	69	22	135
VIII.DIVERS:	o	330	8	--
	o	270	6	30

*Y compris la main d'oeuvre saisonnière

genres d'analyses de données ont été entrepris; par exemple, le Tableau I représente la consommation d'énergie et la production par employé; celui-ci peut être utilisé comme guide à des fins de planification nationale.

1.8 Demandes Energétiques Prévues

Une estimation de la consommation énergétique dans l'industrie a été faite pour l'année 1986, à partir des taux de croissance des sous-secteurs tirés de rapports sur le Plan National. En supposant qu'il n'y ait pas de variations dans les schémas de l'emploi de l'énergie et dans les efficacités énergétiques courantes, on s'attend à ce que la demande totale du secteur industriel atteigne plus de 2 millions TEP en 1986 à partir d'environ 1 million TEP en 1980.

Un examen de possibilités de substitution de combustible a été efectué ainsi qu'une estimation du potentiel pour l'emploi du gaz naturel. Il a été estimé qu'avec un programme énergétique de conversion au gaz, l'industrie pourrait utiliser près de 900'000 TEP par an en 1986/87.

1.9 Potentiel pour la Conservation de l'Energie

Il est évident que les perspectives d'économies d'énergie varient d'usine à usine. Des rapports complets ont été préparés sur les audits des 7 usines effectués au cours de ce projet. Dans ces rapports, des recommandations spécifiques ont été faites pour l'amélioration du rendement effectif de chaque usine. Ces recommandations ont été le sujet de discussions approfondies avec les Directions des usines.

Un examen des données énergétiques, au "niveau macro" a été entrepris pour chaque sous-secteur industriel. Un exemple de l'analyse faite pour l'industrie de la brique est donné aux Tableaux J et K. Cet example dénote l'impact défavorable de la basse utilisation de capacité qui semble être très importante. Des estimations du potentiel de conservation ont été effectuées pour chaque secteur, à partir des résultats des audits et des visites faits aux autres usines sujettes de l'enquête, et à partir d'un examen des données spécifiques de consommation d'énergie. Grâce à un programme de "conservation intense", il a été estimé que la demande de l'industrie pourrait être réduite de 13% environ en comparaison avec l'estimation "pratique comme d'habitude" pour 1986/87. Par "conservation intense" nous voulons dire un programme important d'amélioration de l'exploitation de routine et d'amélioration de la gestion de l'énergie dans le secteur industriel tout entier, ainsi qu'un programme d'investissements dans les mesures de conservation exhibant des périodes de remboursement raisonnable (disons 3 ans et mieux). En ce qui concerne les nouvelles usines, nous voulons dire un examen minutieux des paramètres de conception et l'incorporation, à la conception, de mesures d'économie d'énergie efficiente du point de vue du coût, cela dans une plus grande mesure que pour les conceptions conventionnelles d'usines.

La "conservation intense" présente un défi très difficile pour l'industrie et peut demander une période plus longue que les années 1986/87 pour être entièrement réalisée. Nous suggérons donc un scénario plus réaliste pour quantifier l'impact probable de la conservation pour l'année 1986. Nous suggérons aussi que 50% des capitaux soient effectivement investis dans les usines en fonctionnement en 1986, et que les nouvelles usines soient mises en service avec des rendements énergétiques qui soient de 15% supérieurs à la moyenne actuelle des sous-secteurs.

Tableau J

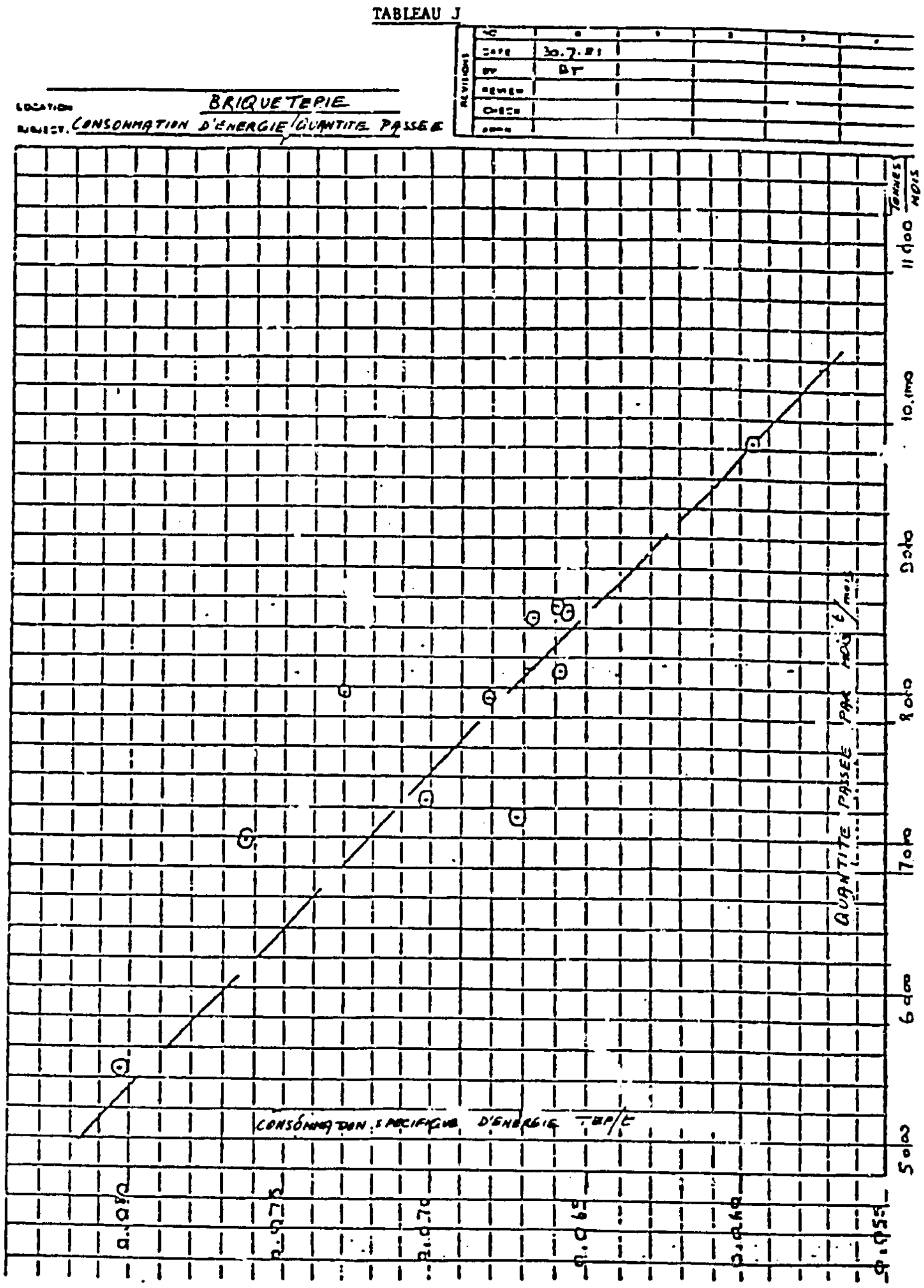


TABLEAU J
BRIQUETEPIE
CONSOMMATION D'ENERGIE/QUANTITE PASSEE
30.7.81
QUANTITE PASSEE PAR MOIS t/mois
CONSOMMATION SPECIFIQUE D'ENERGIE TEP/t
TONNES/MOIS
5000
6000
7000
8000
9000
10.000
11000

Tableau K

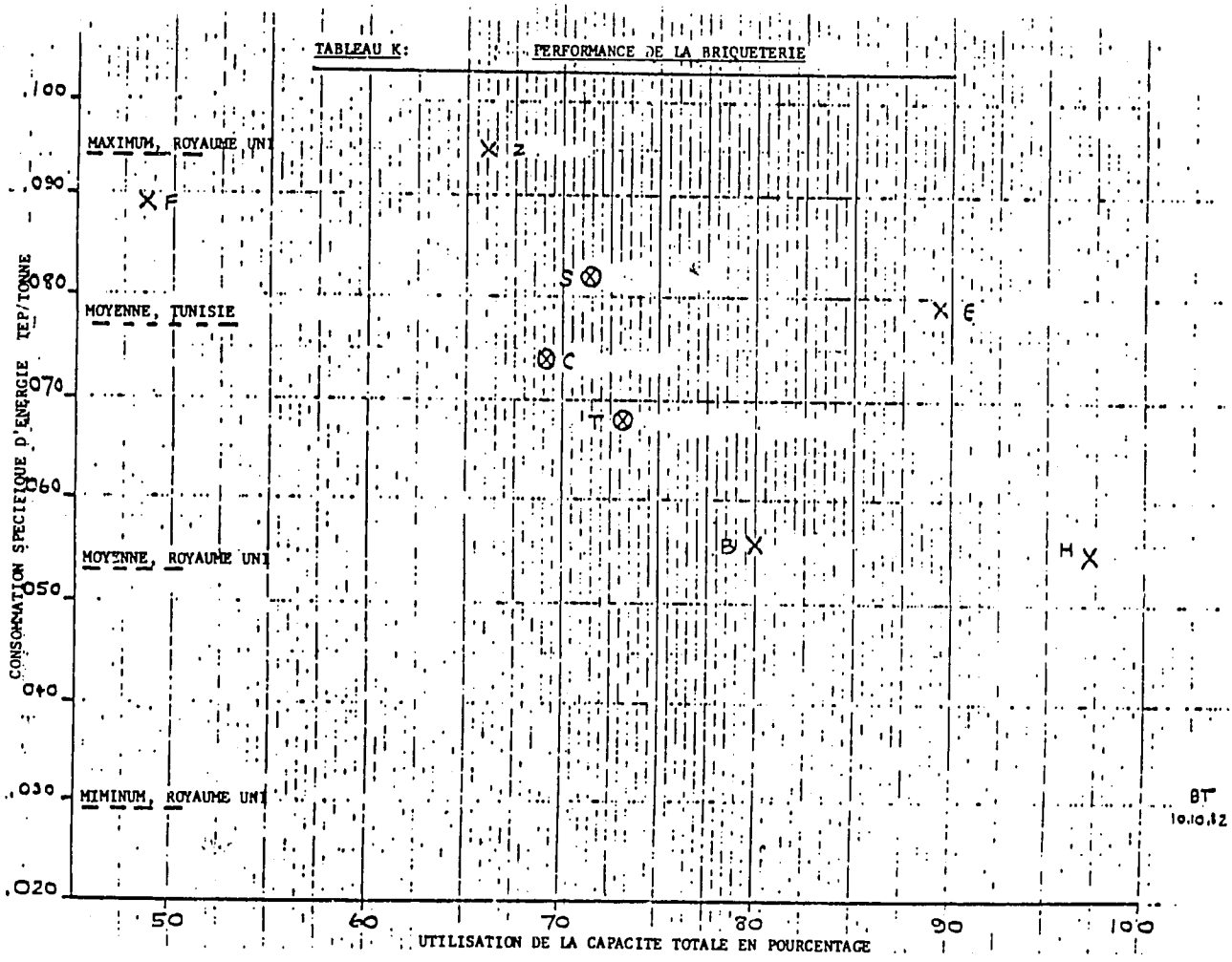


TABLEAU K:
PERFORMANCE DE LA BRIQUETERIE
MAXIMUM, ROYAUME UNI
MOYENNE, TUNISIE
MOYENNE, ROYAUME UNI
MIMINUM, ROYAUME UNI
CONSOMMATION SPECIFIQUE D'ENERGIE TEP/TONNE
.100
.090
.080
.070
.060
.050
.040
.030
.020
50
60
70
80
90
100
UTILISATION DE LA CAPACITE TOTALE EN POURCENTAGE
F
Z
S
C
T
B
E
H
BT
10.10.82

Les bénéfices pouvant être obtenus avec ce scénario, par rapport à la "pratique comme d'habitude", ont été estimés à environ 222'000 TEP par an en 1986:

	10^3 TEP
Contribution faite par l'amélioration de l'exploitation de routine dans les usines actuelles	72
Contribution faite par les investissements dans les usines actuelles	26
Contribution faite par l'amélioration du rendement de nouvelles usines	122
	220

La contribution faite par les améliorations du rendement de nouvelles usines est importante, et la plus grande partie de ces économies sera probablement obtenue sans trop d'efforts de la part de l'industrie Tunisienne; cela parce que les améliorations techniques des usines auront lieu par suite des poussées compétitives en vigueur sur le marché. Un engagement plus actif de la part des ingénieurs recherchant une efficacité plus grande pourrait probablement amener des économies encore plus significatives.

En ce qui concerne le scénario "réalistique", l'accumulation des économies de 1982 à 1986 (à l'exclusion de la contribution faite par les améliorations des nouvelles usines) s'élève à 50 millions de dollars environ, aux prix mondiaux du marché. Environ un tiers de ce chiffre représente la contribution faite par les investissements de capitaux s'élevant à environ 24 millions de dollars sur une période de 4 ans jusqu'à la fin de l'année 1986 (voir Tableau B).

Les ressources en personnel et en équipement (qui peuvent être justifiées par les 50 million de dollars économisés) destinées à la promotion de la conservation sont évidemment importantes. Ce potentiel corrobore aussi notre forte recommandation pour la nomination de responsables de l'énergie au niveau de l'usine, à plein temps dans les grandes installations et à mi-temps dans les autres. Dans l'absence de la centralisation des efforts vers les problèmes de l'énergie (tâche qui relève en grande mesure des responsables de l'énergie) le potentiel incontestable de la conservation ne sera pas réalisé.

1.10. Recommandations pour le Recueil des Données

Des données complètes sont essentielles à la planification énergétique au niveau national. Afin de fournir des données énergétiques précises et à jour (lesquelles ne sont pas disponibles actuellement) il a été recommandé qu'un rapport annuel soit obtenu des principaux consommateurs d'énergie; et que des rapports soient obtenus des distributeurs de combustible pétroliers, d'électricité et de gaz sur leurs ventes de produits énergétiques au secteur industriel.

Le rapport annuel en provenance des sociétés industrielles devrait être concis et devrait comporter des données énergétiques et des données de production. Pour qu'elles soient utiles à la planification et au suivi et contrôle de la consommation d'énergie dans l'industrie, il faut que les données soient recueillies promptement chaque année. Un individu particulier devra être nommé par chaque usine pour compléter le rapport (le responsable de l'énergie de préférence). Le rapport devra comporter un calcul simple de consommation

énergétique spécifique et une comparaison avec l'année précédente afin d'attirer l'attention de toutes les personnes concernées vers l'efficacité de l'emploi fait de l'énergie.

A l'avenir, le traitement électronique de l'information serait la meilleure façon de procéder au recueil de données et à leur analyse. Un système automatisé complexe pourrait être antiproductif, nous recommandons fortement l'utilisation d'un microordinateur interactif.

1.11 Travaux Futurs Recommandés en Tunisie

Le projet actuel a fait ressortir les très grandes possibilités présentées par l'amélioration du rendement énergétique dans le secteur industriel. Pour réaliser le potentiel disponible, le Gouvernement Tunisien a besoin de créer un service administratif pour la conservation de l'énergie dans l'industrie, y compris la capacité du secteur privé à effectuer des audits et à exécuter les recommandations. Toutefois, l'accomplissement d'économies significatives ne peut pas seulement reposer sur un abord technique: priorité doit être donnée au développement et à l'éxécution de politiques gouvernementales efficaces.

Nous recommandons donc l'étblissement d'un programme gouvernemental:

(1) pour encourager et aider l'industrie à utiliser l'énergie plus efficacement grâce à l'amélioration des méthodes d'exploitation et grâce aux investisements dans de l'équipement neuf.

(2) pour servir de soutien au développement de politiques énergétiques grâce à la création et l'entretien d'une base de données énergétiques pour l'industrie. Cette base de données serait utilisée pour le suivi et le contrôle de la consommation et pour l'analyse de politiques alternatives.

Le programme se repose sur une intervention gouvernementale positive mais limitée. Nous recommandons l'institution d'un "Groupe pour le Rendement Energétique dans l'Industrie" (GREI) formant deux sections:

(1) Une Section Technique responsable de services d'aide technique comme les enquêtes d'usines, les audits courts, le développement et la gestion de programmes de conservation au niveau de l'usine, les spécifications d'équipement, et les études spéciales. Cette section sera le catalyseur de mesures effectuées par les entreprises mêmes plutôt qu'une ressource qui peut excécuter tout le travail nécessaire.

(2) Une Section de Politique et d'Analyse responsable pour le recueil régulier de données et leur analyse, la coordination des programmes de formation, la préparation et dissémination de matériel publicitaire et d'informations techniques, et le soutien nécessaire au développement de politiques énergétiques nationales et à l'introduction de mesures législatives.

A notre avis, il est très important que les deux Sections travaillent en concertation; chacune peut être très efficace à condition d'agir ensemble. Nous ne pensons pas que l'une ou l'autre des sections pourrait être aussi efficace seule et ce serait une erreur de procéder à un programme se reposant sur les activités isolées de l'une ou de l'autre.

Il est essentiel de donner son autonomie au GREI et de lui allouer les

ressources nécessaires en personnel et en équipement. Une administration solide est aussi essentielle, car le travail du groupe sera un mélange de travail technique et de relations publiques. Une grande partie de son succès se reposera sur l'établissement de sa crédibilité auprès des entreprises.

---

2. VISITES EFFECTUEES A DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES AU TOGO

Une série de visites d'usines ont été faites à Lomé et dans ses environs pour nous préparer à ce séminaire. Les visites ont été utilisées pour faire la sélection d'une usine convenant à la visite pratique envisagée, et pour obtenir une idée générale de la situation énergétique dans l'industrie Togolaise. Les usines visitées ont été les suivantes:

(1) CIMAO - fabrique de scories
(2) SNS - aciérie
(3) CIMTOGO - usine de broyage de scories
(4) BRASSERIE DU BENIN
(5) SOTOMA - briqueterie et usine de traitement du marbre
(6) OTP - usine de traitement du phosphate

Ci-après se trouvent de courts sommaires des données recueillies et de nos observations:

Usine: Les Ciments de l'Afrique de l'Ouest (CIMAO)

Date: 16 Décembre 1982
Contact: MM. Philippe et Lawson

Activités: Cette usine est entrée en service en 1980. Elle produit des scories de ciment à partir de matériaux locaux. Elle appartient en copropriété aux gouvernements Togolais, Ghanéen et de la Côte d'Ivoire. Il y a environ 500 employés. L'usine consiste de deux fours de préchauffage à suspension à 4 étapes de Polysius, chaque four ayant une capacité d'environ 600,000 tonnes par an. Les matières premières proviennent de carrières avoisinantes, ces matières premières sont gardées couvertes en stocks de réserve près des fours. La teneur moyenne en humidité est d'environ 14%, mais elle peut varier entre 8% en saison sèche et 18% en saison pluvieuse. Les matières premières sont traitées dans des broyeurs à boules (un pour chaque four) dans lesquels la chaleur est récupérée à partir des gaz d'échappement du four; un brûleur supplémentaire pour le séchage est aussi installé. Les préchauffeurs à suspension à 4 étapes ainsi que les fours sont de conception moderne courante, le refroidissage des scories étant effectué dans des tuyaux refroidisseurs orbitaux à l'extérieur. Les scories sont ensuite transférées à des silos de stockage avant d'être transportées par chemin de fer à la CIMTOGO (afin d'être broyées et mélangées pour la fabrication du ciment) ou bien directement au port de Lomé pour exportation directe. Les investissements totaux, y compris le chemin de fer et les facilités portuaires, se sont éleves à 67.5 milliards de francs CFA.

Equipement principal consommateur d'énergie: Cette cimenterie est d'un modèle moderne courant. L'usage principal fait de l'énergie est comme suit:

(1) Electricité (pour le broyage des matières premieres et pour la rotation des fours)
(2) Fuel oil lourd (chauffe des fours)

L'électricité provient du réseau et le fuel oil est amené par le réseau ferré.

Observations:

1. Le fuel oil est gardé dans des réservoirs de stockage chauffés et est aussi préchauffé avant le chauffage dans les fours. Un système de fluide thermique est utilisé et une petite chaudière est toujours connectée pour chauffer ce fluide à environ 120°C. Le réservoir de fuel oil est tenu à une température d'environ 70°C, ce qui semble plutôt élevé (une température de 50°C serait probablement suffisante).

2. La chaudière de fluide thermique possède un système entièrement automatique de brûleur-jet à pression de Klöckner, mais il n'y a aucun moyen de mesurer la température de la cheminée ou la teneur en oxygène des gaz brûlés. Il n'y a donc aucun moyen de vérifier l'efficacité de la combustion. Bien sûr, la quantité de combustible brûlé dans la chaudière de fluide thermique est seulement d'environ 190 kg/heure, ce qui est moins de 2% de la consommation totale de l'usine en fuel oil.

3. Le fuel oil est préchauffé à partir d'une température de 70°C jusqu'à une température de 90°C immédiatement avant les brûleurs principaux du four (brûleurs-jet à pression de Paillard MY Simplex).

4. La teneur en oxygène des gaz de sortie des fours est contrôlée de façon continue et est maintenue normalement à un maximum d'environ 1,5%. L'un der fours fonctionnait à 0,5% lors de notre visite. La teneur des gaz en CO est aussi contrôlée et devrait être à un très bas niveau si la combustion est contrôlée correctement. Les lectures étaient très basses lors de notre visite.

5. Le système standard PS à 4 étapes fonctionne efficacement, les gaz du four entrant à la première étape à 1200°C et sortant à l'étape 4 à 300°C.

6. Toute l'électricité est obtenue du réseau: il n'y a pas d'électricité autoproduite. L'approvisionnement nous a-t-on dit est fiable, avec peu de réductions de voltage ou de coupures de courant.

7. Les fours sont arrêtés à peu près tout les 3 mois pour réparations des briques réfractaires. Ceci semble être trop fréquent et devrait être vérifié.

Données de consommation d'énergie: Des données mensuelles caractéristiques ont été obtenues (Octobre 1982):

Scories produites	71,367 tonnes
Electricité consommée	5.336 million kwh
Fuel oil consommé	7033 tonnes (PCI 9850 kcal/kg)

L'emploi d'électricité est donc équivalent à environ 75 kwh par tonne de scories, et l'usage général de combustible est de 970 kcal/kg de scories. En ce qui concerne seulement les fours, l'usage de combustible est d'environ 915

kcal/kg. Ces chiffres sont tout à fait raisonnables en comparaison avec les normes internationales, quoique le chiffre pour les combustibles (970 kcal/kg) soit plutôt élevé (qui est probablement dû à la teneur relativement haute des matières premières en humidité).

Remarques: Cette usine utilise la technologie la plus récente en ce qui concerne la fabrication de ciment et semble fonctionner au niveau des normes internationales. Bien qu'il soit généralement possible de faire quelques économies d'énergie dans toutes les usines, les possibilités d'amélioration du rendement énergétique ne semblent pas être très grandes dans cette usine-là. Toutefois, il faut remarquer que les fours fonctionnent actuellement à environ 70-75% de leur capacité maximum. Pour atteindre un rendement énergétique maximum, l'usine devrait fonctionner aussi près que possible de sa capacité maximum.

Enfin, il faut remarquer qu'un rapport mensuel est produit par l'usine, et que les consommations d'électricité et de fuel oil sont vérifiées régulièrement; les consommations énergétiques spécifiques sont calculées chaque mois.

Usine: Société Nationale de Sidérurgie (SNS)

Date de la visite: 16 décembre 1982
Contact: M. Sipka

Activités: Cette usine est une aciérie intégrée qui produit des barres en acier renforcé principalement à partir de déchets d'acier locaux. L'Usine (de conception suisse) est entrée en service en Janvier 1979; son coût de construction était d'environ 14 milliards de francs CFA. Cette usine est la propriété du Gouvernement Togolais. Elle consiste d'une section de préparation des déchets, d'un four à arc électrique pour la fabrication de l'acier, et d'un four de re-chauffage et de laminoirs. La capacité annuelle du four à arc est d'environ 20,000 tonnes, et celle des laminoirs est de 40,000 tonnes, mais la production est actuellement de moins de 9000 tonnes par an. 30% environ de la production est utilisée au Togo, et jusqu'à 70% de cette production est exporté en Haute Volta, au Bénin et au Niger.

Equipement principal consommateur d'énergie: Les principales formes d'énergie consommées sont:

(1) Electricité dans le four à arc
(2) Gasoil dans le four de rechauffe

L'électricité provient du réseau: l'usine est située à environ 200 mètres d'une nouvelle centrale qui possède deux turbines à gaz de 30 MW en service (et quatre générateurs diesel de 10 MW sont en cours d'installations). Le gasoil est amené par camion citerne.

Observations: Malheureusement l'usine était en cours d'arrêt lors de notre visite, mais il nous a été possible de faire les commentaires suivants:

1. L'aciérie peut être partagée en deux sections principales, la fabrication de l'acier et les laminoirs.

2. L'aciérie comprend la préparation de la charge d'alimentation (lorsque les

déchets locaux et une petite quantité de déchets d'importation sont coupés en petits morceaux avant d'être chargés dans le four à arc). Le four même a une capacité de 15 tonnes et peut travailler jusqu'à 5 versements par jour en trois relais complets. Le cycle de chauffage du four est d'environ 4 heures. Trois électrodes ont été montés.

3. La composition de l'acier produit est ajustée grâce à l'addition de divers additifs et produits chimiques. La teneur en carbone peut être contrôlée à l'aide du lancement à l'oxygène, l'oxygène étant fourni par des cylindres.

4. Le four à arc peut être penché pour verser l'acier fondu dans des poches de coulée. Les poches de coulée sont préchauffées à l'aide de brûleurs à gasoil; les couvercles des poches de coulée n'étaient pas bien isolés. Les poches de coulée transfèrent l'acier fondu à la section de coulage, où les lingots sont coulés et plus tard stockés en réserve à l'extérieur du bâtiment des laminoirs. Les lingots pèsent généralement 150 kilos.

5. Avant d'être laminés, les lingots sont rechauffés dans un four chauffé au gasoil. Le four de rechauffe nécesssite une période de chauffage d'environ 2 jours à partir d'un début à froid et est supposé être en fonctionnement continu. Les lingots sont chauffés à environ 1200°C dans le four.

6. Le four de rechauffe est un four courant pousseur chauffé au gasoil. Il semble que le four puisse être chauffé au fuel oil lourd mais l'approvisionnement, nous a-t-on dit, est difficile. Ceci devrait être étudié car les combustibles lourds sont moins chers que le gasoil.

7. Le four possède des brûleurs provenant d'Amérique du Nord (avec des gaînes de ventilation primaires et secondaires à tirage forcé séparé). Il n'y a pas de contrôle automatique du rapport air/combustible, et aucun mesurage de l'oxygène et de gaz carbonique dans les gaz brûlés. La température des gaz brûlés n'est pas mesurée. Il n'y a donc aucun moyen de vérifier l'efficacité de la combustion.

8. L'isolement du four semble être fait de briques ordinaires, de ce fait la perte de chaleur devrait être vérifiée lorsque l'usine est en état normal de marche.

Données de consommation d'énergie: Des données ont été obtenues de l'usine et de la centrale électrique. Nous avons remarqué certaines divergeances, y compris le fait que la production de lingots a été donnée à 3500 tonnes de plus que la production de barres, pourtant le stock de lingots aperçu sur le chantier n'était peut-être que de 100-200 tonnes. Nous ne pensons pas que les données soient fiables, mais nous les donnons quand même au Tableau A, en même temps que quelques rapports calculés, comme les consommations d'électricité par tonne de produit.

On verra que la consommation d'électricité dans le four à arc fluctue largement alors que la consommation d'oxygène est extrêmement variable, selon les données fournies. Les consommations d'électricité et de gasoil pour les laminoirs sont aussi extrêmement variables; de meilleurs registres devraient être tenus en tant que commencement de l'amélioration de la gestion de l'énergie.

Remarques: En général, nous recommandons qu'une plus grande attention soit portée sur le recueil par la direction de l'entreprise, de données fiables

portant sur l'énergie et la production. Par exemple, l'usine ne possédait pas de données séparées pour la consommation d'électricité par les laminoirs et par le four à arc. D'après nos renseignements, il y a eu un changement de Direction au mois de Septembre 1982; nous espérons donc que les données (et la gestion de l'énergie) s'améliorent. Les possibilités d'économies d'énergie ne peuvent pas encore être estimées; nous recommandons l'exécution d'essais aussitôt qu'un fonctionnement régulier est obtenu. Il est particulièrement important que le four de rechauffe soit opéré à haute capacité aussitôt que possible: il est préférable que les lingots soient stockés en réserve, et que le four soit opéré à plein rendement pour disons 1 à 2 mois et puis de le fermer pendant que le stock est reconstruit. D'après notre opinion, cette usine emploie une technologie raisonnablement moderne, mais ne semble pas avoir été conçue pour un rendement énergétique optimum car elle manque de bonne instrumentation dans un grand nombre de zones.

Usine: CIMTOGO

Date de la visite: 17 décembre 1982
Contact : M. Brenner

Activités: Cette usine appartient en copropriété au Gouvernement Togolais (50%) et à des intérêts privés (50%). Elle est entrée originellement en service en 1971. L'usine broie du ciment non broyé et le mélange avec du gypsum, du matériel pozzolanic d'importation, du sable et autres additifs pour produire un gamme de ciments finis en sacs. L'usine produit suffisamment de ciment pour le marché Togolais tout entier, elle exporte aussi du ciment fini. Le ciment non broyé en provenance de CIMAO est chargé sur des bateaux amarrés au quai attenant à l'usine CIMTOGO.

L'usine a été originellement construite avec un broyeur à ciment capable de produire 150,000 tonnes par an. Toute la portion Togolaise de la production de l'usine CIMAO est destinée à être broyée par CIMTOGO (le tonnage prévu étant de 300 à 350,000 tonnes par an) pour satisfaire le marché local, actuellement estimé à 220,000 tonnes par an, aussi bien que pour les exportations vers la Haute Volta et le Niger, exportations qui se chiffrent actuellement à environ 40,000 tonnes par an.

Equipement consommateur principal d'énergie: Presque toute l'énergie utilisée dans l'usine est sous forme d'électricité pour les laminoirs quoique les gasoil soient utilisés dans un sécheur rotatif pour le pouzzolan d'importation. Le facteur de puissance de l'électricité est plus grand que 0.85.

Observations:

1. L'usine semble être bien entretenue et semble fonctionner efficacement. Les ciments sont produits à des normes courantes françaises.

2. Des difficultés de qualité sont parfois rencontrées en raison des variations de densité (qualité) du ciment non broyé de CIMAO. Ceci peut avoir un certain effect sur l'utilisation énergétique du fait que l'énergie utilisée pour le broyage peut être affecté défavorablement.

3. Des aides pour le broyage ont été mises à l'épreuve mais elles n'ont pas été jugées utiles.

4. Comme l'usine ne fcontionne pas au maximum de sa capacité, le broyage est souvent effectué la nuit pour économiser sur les frais d'électricité:
   tarif de jour 23 francs CFA/kwh
   tarif de nuit 19 francs CFA/kwh

5. Le sécheur de pouzzolan est du type rotatif - avec un courant d'air sans recyclage. Un brûleur à gobelet rotatif est en place, d'une capacité maximum de 500 kg/heure.

6. Les difficultés rencontrées par l'usine se rapportent actuellement à sa rentabilité plutôt qu'à l'énergie. Bien que la capacité de production soit de 850,000 tonnes par an, on s'attend à ce que celle-ci soit d'environ 260,000 tonnes par an en 1983. Le prix du ciment non broyé de CIMAO est élevé, et le prix local du ciment est contrôlé par le Gouvernement.

Données de consommation d'énergie: Les données de consommation d'électricité ont été données comme suit:

	Consommation (kwh)	Production (tonnes)	kwh/t
1979	10,534,000	297,615	35.4
1980	10,561,000	303,042	34.8
1981	9,804,000	278,472	35.2
9 premiers mois de 1982	---	207,974	---

De plus, il semble qu'environ 15 litres de gasoil soient consommés par tonne de pouzzolan traité dans le sécheur, c'est à dire, environ 655.tonnes par an:

$$260{,}000 \text{ t/an} \times 20\% \text{ pouzzolan} \times \frac{15}{1000} \times 0{,}84 \text{ SG} = 655 \text{ t/an}$$

On a supposé une teneur de pouzzolan de 20% pour effectuer le calcul, quoique il ait été spécifié que jusqu'à 25% de pouzzolan peuvent être inclus dans le ciment fini. Le total de 655 tonnes/an semble plutôt élevé et devrait être vérifié, car le contrôle semble être concentré seulement sur la teneur d'humidité du produit de sortie et non sur l'humidité relative du gaz de sortie.

Il n'existe pas de contrôle de l'efficacité de la combustion, mais le brûleur possède un contrôle automatique du rapport air/combustible.

Le coût de l'électricité représente environ 3% du prix final de vente du ciment.

Remarques: L'usine semble bien fonctionner et est efficace du point de vue de l'emploi de l'énergie. Donc, les économies possibles sont probablement assez limitées.

Usine: Brasserie du Bénin

Date de la visite: 20 décembre 1982
Contact: M. Ayayi Ajavon

Activités: L'usine est principalement une brasserie, bien qu'elle produise aussi des boissons gazeuses. L'usine appartient en copropriété à des intérêts privés allemands et togolais. Son entrée en service date de 1966. L'usine a été agrandie plusieurs fois depuis cette date, la dernière fois étant en 1981. L'effectif est actuellement de 470 employés. Plusieurs types de bières blondes et la bière Guiness sont brassés. Il y a deux chaudières d'une capacité de vapeur de 10 tonnes/heure chacune, quoique qu'il n'y en ait qu'une en marche à la fois. Chaque chaudière fonctionne pour une semaine environ. Les chaudières sont chauffées la moitié du temps au gasoil et l'autre moitié au fuel oil lourd. Il y a 5 compresseurs à ammoniac (de 50 CV chacum) pour le système principal de refroidissement, ainsi qu'un certain nombre de compresseurs à air, de liquéfieurs de gaz, de pompes, etc.

Le procédé est d'un type courant, la fermentation étant suivie par la cuisson, puis le filtrage du produit.. Le malt grillé est importé. Le gaz carbonique produit lors du brassage est recueilli, comprimé et liquéfié: il est utilisé principalement pour la fabrication de boissons gazeuses. La bière est empaquetée dans des boîtes (une ligne, 25,000 boîtes/heure) ou en bouteilles (une ligne, 12,000, une autre 30,000 bouteilles/heure).

Equipement consommateur principal d'énergie: Le fuel oil lourd et le gasoil sont utilisés dans les chaudières, et l'électricité est utilisée dans toute l'usine pour faire fonctionner les compresseurs à air et à ammoniac, les lignes de bouteille, les pompes, les lumières, etc. De l'huile diesel est utilisé occasionnellement pour les générateurs d'électricité en cas d'urgence (trois générateurs de 340 kw), quoique l'approvisionnement électrique du réseau soit généralement très fiable.

Observations:

1. Les chaudières ont été conçues pour une génération de vapeur à 8 bar, sur lesquelles ont été montés des brûleurs à gobelet rotatif. L'eau et le combustible sont mesurés, et une instrumentation complète a été installée, y compris des amortisseurs automatiques de cheminée et un contrôle du rapport air/combustible. Des ventilateurs de tirage forcé ont été installés.

2. Des vérifications régulières de l'efficacité des chaudières sont effectuées par le personnel technique de l'usine. Il nous a été possible d'utiliser un analyseur portatif de gaz brûlés et de vérifier l'efficacité des chaudières avec le technicien de l'usine, cela pour différents taux de mise à feu (1 est le plus bas; le taux maximum serait 10):

Position d'allumage:	1	1	5.5	5.5	8
Oxygène, %	6.1	6.2	5.7	5.8	4.3
Température ^{o}C	160	164	210	206	222
Rendement	82.8	82.5	80.4	80.6	80.6

Ces chiffres sont bons, et montrent que la chaudière est bien ajustée pour un contrôle automatique du rapport air/combustible sur toute une étendue de taux de mise à feu. Il est peut-être possible d'améliorer la combustion en réduisant à 2 ou 3% la teneur en oxygène, ce qui résulterait en une amélioration du rendement de 1 à 2%.

3. La chaudière (possédant un bon appareillage) était aussi bien entretenue, propre, et bien isolée. La perte de chaleur de la structure est donc bien contrôlée.

4. L'éclairage général est bon selon les besoins, et nous avons remarqué que l'éclairage était fermé aux postes de travail inoccupés. La plupart de l'éclairage est fluorescent.

5. Une récupération maximum du condensat est pratiquée.

6. Toute la tuyauterie d'utilité avait une couleur d'identification et les réservoirs et lignes de production étaient correctement isolés selon les besoins.

7. L'eau s'évaporant des cuisinières (évaporateurs) s'élève à 18% environ; et s'échappe dans l'atmosphère. Il ne semble pas y avoir de récupération rentable de la chaleur.

8. Le recyclage d'eau est pratiqué dans les machines à laver les bouteilles, l'eau usée finale étant évacuée à l'égout.

Données de consommation d'énergie: Quelques données énergétiques ont été fournies, mais les chiffres de production correspondants n'ont pas été donnés. Les chiffres pour novembre 1982 sont comme suit:

Consommations:	Eau	127,000 m^3
	Electricité	457,000 kwh
	Gasoil et fuel oil	205,000 litres

Il a été spécifié que la brasserie fonctionne caractéristiquement à un taux de production d'environ 500,000 hectolitres/l'an.

Remarques: Cette brasserie est en bon état de marche et nous doutons que des économies supplémentaires puissent être effectuées. Le fonctionnement de la chaudière est particulièrement bon. Le contrôle régulier de la performance et l'ajustement des conditions d'allumage est un modèle de bonne gestion de l'énergie.

Usine: SOTOMA

Date de la visite: 21 décembre 1982
Contact: MM. Akitani et Djato

Activités: Cette usine fabrique des objets de marbre à partir de blocs de marbre extraits grossièrement. Le briques y sont aussi fabriquées. Une section pour la production de carreaux de céramique est actuellement fermée

en raison des conditions défavorables du marché. Les carrières de marbre sont situées à environ 120 et 200 kilomètres de l'usine. Les activités de l'usine consistent de divers genres de taillage et de lissage de pierre. L'électricité est utilisée pour les machines.

Du point de vue énergétique, la section briqueterie est d'intérêt primordial. Une carrière d'argile se trouvant à 15 km de Lomé et une autre près de l'usine sont utilisées pour les matières premières. Quatre fours à lots sont installés. Ils sont précédés par une grande salle à séchage dans laquelle les gaz d'échappement des fours peuvent être soufflés pour activer le séchage des briques brutes, hourdis et carreaux. Les fours à brique sont chauffés avec des résidus de coton et de la coke et d'écorces de noix de coco. Du bois est utilisé seulement pour faire démarrer les feux. Jusqu'à ces derniers mois, les fours étaient chauffés au fuel oil lourd: la conversion aux résidus de coton signifie que les frais de combustible ont été réduits de 90% environ. Cela veut dire aussi que des déchets disponibles sur place peuvent être employés efficacement.

La briqueterie qui a une capacité de 60 tonnes/jour environ utilise un procédé courant de fabrication de briques. L'argile et le sable sont mélangés à de l'eau et extrudés selon la forme requise. Les briques individuelles sont coupées au fil et entassées sur des plateaux pour séchage. Après le séchage, les briques sont cuites pendant 24 heures environ.

Equipement consommateur principal d'énergie: Toute l'énergie utilisée dans la briqueterie pour le chauffage des fours est sous la forme de déchets de coton. De petits montants d'électricité sont utilisés pour le maniement de matériaux comme le mélange d'argile et de sable.

Observations:

1. Les fours à briques sont de conception courante et deviennent plutôt âgés. La méthode de cuisson par lots n'est pas le moyen disponible le plus efficace pour la fabrication de briques, mais il convient pour la production de briques à petite échelle. C'est un moyen efficace d'utiliser comme combustible des déchets disponibles sur place.

2. Lorsque le fuel oil était utilisé (à approximativement 6000 kcal/tonne), la consommation de combustible pour la fabrication de briques s'élevait à peu près à 60 litres d'huile par tonne. 6 tonnes environ de résidus de coton sont utlisés par four par lot de briques cuites, ce qui représente une consommation énergétique similaire.

3. Les résidus de coton sont disponibles à un taux de 18,000 tonnes/an environ, et la briqueterie utilise à présent environ 2,500 tonnes/an qui reviennent à 5000 francs CFA/tonne pour produire 18,000 tonnes de briques. La capacité telle que conçue était de 27,000 tonnes/an, mais l'équipement est si âgé qu'il n'est plus possible d'atteindre ce chiffre.

4. L'argile utilisé pour les briques au Togo ne contient pas de carbone en quantité appréciable, donc toute l'énergie d'appoint provient du combustible chauffé dans les fours.

5. Un haut taux de rebuts est causé par un surplus de cuisson d'une partie des briques entassées, mais l'opération est quand même rentable.

6. La section de maniement du marbre est essentiellement une industrie artisanale qui n'utilise que de l'électricité. Les possibilités d'économie sont négligeables. Aucun éclairage était resté allumé, et les machines étaient arrêtées si elles étaient inoccuppées. Il existe peut-être des possibilités d'améliorations des techniques de taillage par l'utilisation de scies à pointes de diamant plutôt que de simples tailleurs en acier.

Données de consommation d'énergie: Un chiffre de 21,700 kwh d'électricité a été donné pour un mois récent, et la consommation de déchets de coton a été spécifiée à environ 2,500 tonnes/an.

Remarques: Cette usine fournit un exemple excellent de l'usage efficace de déchets disponibles localement comme source d'énergie. Les frais de combustibles ont été si réduits que nous ne pensons pas que des tentatives conventionnelles d'économies de combustibles seraient rentables. A l'heure actuelle, la disponibilité en combustibles bon marché est assurée et des efforts de conservation sont à peine pertinents.

Usine: Office Togolais des Phosphates (OTP) - Usine de traitement

Date de la visite: 17 décembre 1982
Contact: M. Moukaela

Activités: Cette usine qui appartient au gouvernement, enrichit de la roche phosphatée qui est exploitée à environ 35 km de l'usine, laquelle est située sur la côte pour faciliter l'accès à l'eau utilisée dans le traitement. Toute la production est caractéristiquement exportée par bateau.

La roche phosphatée est exploitée à ciel ouvert et est amenée à l'usine par train: de 25 à 30 trains par jour déversent env. 20,000 tonnes/jour de roche (d'une qualité 63-66 BPL) qui est traitée pour hausser la teneur en phosphate à 78-80 BPL. Environ 25 ans de réserves demeurent dans le terrain. Le procédé consiste à adoucir avec de l'eau de mer la roche qui arrive en forme de poudre en direct des mines, à retirer les particules trop larges dans un tamis vibratoire, et ensuite à retirer les petites et grandes fractions de roche stérile en deux étapes d'hydrocyclones avant le séchage des fractions de coeur dans des sécheurs rotatifs chauffés au fuel oil.

L'enlèvement des fractions est effectué dans 5 lignes* similaires comme suit. La boue (contenant de 200 à 300 gm/litre de solides dans 2400 m^3/heure environ d'eau de mer) est passée à travers un tamis pour retirer toutes les particules d'un diamètre supérieur à 3 mm. Les particules fines de la meilleure qualité (moins de 25 microns) sont retirées dans la première étape d'hydrocyclone. Après l'enlèvement des particules les plus lourdes dans la seconde étape d'hydrocyclone, la boue contenant 70% de solides est passée à des centrifuges où elle est rincée à l'eau fraîche pour retirer les sels afin de satisfaire les spécifications de 500 ppm de chlorures (maximum). La consommation d'eau fraîche (soutirée de 7 puits) est d'à peu près

---

* 3 ou 4 lignes normalement en service, et 1 ou 2 lignes à l'entretien.

800 litres par tonne de produit. L'eau de sortie du centrifuge est filtrée et du phosphate est récupéré pour joindre la coulée principale de sortie qui est conçue pour contenir environ 16% d'humidité.

Ce matériau est ensuite chargé dans les sécheurs rotatifs chauffés au fuel oil lourd. Le phosphate est séché pour donner une teneur en humidité de 2% maximum. A ce stade-là, le phosphate est stocké et transporté par mer à la clientèle.

Equipement consommateur principal d'énergie: La consommation principale d'énergie est sous la forme de fuel oil lourd pour les sécheurs rotatifs. L'usage d'électricité est très bas, car le broyage de la roche phosphatée n'est pas nécessaire. L'électricité est utilisée pour le pompage de la boue, les bandes transporteuses, la rotation des sécheurs, etc.

Observations:

1. L'aspect général du site semble bien organisé et entretenu. La plus grande part de la durée de notre visite s'est effectuée dans la zone de séchage, car c'est dans cette zone que l'énergie est utilisée.

2. Un examen bref des lignes de séchage a démontré que les trois plus vieux sécheurs sont mal isolés. Le sécheur no. 1 n'était pas en marche, mais les sécheurs no. 2 et 3 étaient en marche avec des flammes passant de la combustion aux sections de séchage rotatif.

3. Les sécheurs nos. 1, 2, et 3 ont des systèmes à tirage induit alors que les sécheurs nos. 4 et 5 ont des systèmes de ventilation à tirage forcé.

4. Quelques températures de gaz ont été enregistrées autour des sécheurs. Les températures des gaz de sortie ont été enregistrées d'après les instruments installés à l'usine, mais la température à l'extérieur de la canalisation nous a semblé particulièrement chaude pour les sécheurs nos. 2 et 3. Les données suivantes ont été obtenues:

Sécheurs	2	3	4	5
Air chaud vers la section de séchage rotatif	920	820	(instruments hors de service)	570
Température des gaz de sortie	77	100	(instruments hors de service)	67

Les températures d'entrée des sécheurs nos. 2 et 3 nous ont semblé excessivement élevées et sont un signe d'une forme de flamme inférieure et d'un mélange inadéquat de l'air de dilution introduit à la sortie de la section combustion.

5. Des brûleurs (Saake) à gobelets rotatifs ont été montés sur les sécheurs. Il n'y a pas de prise de mesure de l'humidité du gaz de sortie. Le contrôle se fait sur la base de la teneur en humidité du phosphate, laquelle est déterminée régulièrement dans le laboratoire de l'usine.

6. Le fuel oil lourd est stocké dans des réservoirs qui n'apparaissent pas

isolés et qui sont peints en noir. Ces réservoirs sont chauffés à de la vapeur produite dans une chaudière avoisinante (que nous n'avons pas vue, étant donné que la chaufferie ne pouvait pas être visitée lors de notre passage).

7. La quantité de phosphate produite est assez régulière à environ 60% de la quantité de roche phosphatée reçue des mines.

8. La teneur en eau de la charge d'alimentation des sécheurs, ainsi que celle des coulées de produit est contrôlée de façon régulière. Les registres de l'usine indiquent que l'humidité de la charge d'alimentation est généralement de l'ordre de 17.3 à 18.9%, avec un ou deux chiffres inférieurs autour de 16.6 et des chiffres élevés aux alentours de 19.5% ont été remarqués. Il est évident que la teneur en humidité de l'alimentation d'admission n'approche pas en moyenne du pourcentage de conception (16%). La teneur en humidité de l'alimentation de sortie était de l'ordre de 1.8 à 2.0%.

Données de consommation d'énergie: Des données se rapportant à un mois caractéristique (novembre 1982) ont été obtenues:

Production	203,421 tonnes
Consommation de fuel oil	3,173,379 litres
Consommation d'électricité	1,870,143 kwh
Emploi du combustible	15.6 litres/tonne
Emploi d'électricité	11.5 kwh/tonne

Remarques: Des registres complets sont tenus et des consommations spécifiques d'énergie sont enregistrées régulièrement. Toutefois, il ne semble pas y avoir de tentative faite pour relier l'usage énergétique à la production ou aux teneurs en humidité. Le facteur critique influençant l'usage de combustible est évidemment la teneur en humidité de la charge d'alimentation des sécheurs.

Nous recommandons donc qu'une étude soigneuse du fonctionnement des sécheurs soit effectuée, et que des essais de marche soient entrepris au cours d'une période de temps raisonnable pour recueillir des données complètes sur tous les paramètres pertinents (c.à.d. les débits d'air et de combustible, le taux de traitement de la roche phosphatée, les températures des gaz et du produit, les niveaux en humidité de l'alimentation et du produit de sortie, l'humidité du gaz de sortie, etc). Des bilans calorifique et de matériel devraient ensuite être calculés en détail, et les pertes de chaleur des gaz de sortie et de la structure devraient être estimées. L'efficacité du système de contrôle devrait aussi subir un examen. Il peut être possible de réduire la consommation d'énergie grâce à l'amélioration des procédures de fonctionnement des sécheurs.

Il est aussi possible que certains changements apportés au traitement pourraient être rentables. Par example, l'étape de lavage à l'eau fraîche devrait subir un examen: actuellement ce rinçage est effectué dans la cuve du centrifuge final immédiatement avant l'entrée du phosphate dans le sécheur. Des alternatives pourraient être étudiées avec le but de réduire la teneur en eau de l'alimentation des sécheurs. La rentabilité d'une étape additionnelle de séparation d'eau pourrait aussi être étudiée (par exemple des centrifuges supplémentaires de seconde étape, d'une opération en série

des centrifuges actuels, de l'équipement supplémentaire de filtration à vide, etc.)

La spécification finale du produit à 2% d'humidité mérite aussi un examen. Un léger relâchement de ce chiffre pourrait avoir un effect significatif sur l'utilisation de combustible, et résulterait aussi en une diminution de perte de produit durant le chargement de navires (réduction des pertes de phosphate envolé).

Enfin, il faut remarquer qu'un examen approfondi des opérations de traitement du phosphate nécessiteront une période de temps adéquate pour effectuer des observations sur place. Toutefois, une étude importante semble être justifiée en raison des consommations importantes de fuel oil. Les possibilités de substitution de combustible peuvent aussi valoir l'effort d'être étudiées (par example, d'utilisation de combustible à base de bois) bien que nous doutions de la rentabilité de reconstruire l'usine en vue de l'utilisation de combustibles différents (particulièrement après l'optimisation des opérations de l'usine actuelle).

CINQUIEME SEANCE: PERSPECTIVES POUR LA CONSERVAITON D'ENERGIE

1. PROGRAMMES DE FORMATION

1.1 Introduction

Un programme complet de formation sur la gestion de l'énergie dans l'industrie aurait caractéristiquement les ojectifs primaires et complémentaires suivants:

1. La formation d'ingénieurs, de directeurs et de représentants du gouvernement dans les techniques de base de la gestion de l'énergie dans l'industrie.

2. La formation d'ingénieurs du niveau de l'usine dans l'accomplissement d'audits énergétiques pratiques, dans le recueil de données liées à l'énergie, et dans l'application pratique de techniques de conservation d'énergie.

3. L'amélioration de la sensibilisation des ingénieurs, directeurs et planificateurs gouvernementaux aux possibilités d'amélioration de l'utilisation efficace de l'énergie dans l'industrie, et à leur appréciation de ses limites et de son coût.

4. L'établissement de systèmes de données énergétiques complets et précis au niveau de l'usine, qui contribueront à l'amélioration de la gestion de l'énergie à l'intérieur des usines et donnera aux planificateurs gouvernementaux des données fiables sur lesquelles ils baseraient leurs décisions.

5. L'exécution d'audits énergétiques détaillés à certaines installations industrielles afin de quantifier les possibilités d'économie et de

développer certains plans d'action pour réaliser ces possibilités. De plus, cela donnerait de l'expérience aux ingénieurs.

Dans le contexte national, une gestion efficace de l'énergie dans l'industrie nécessite la formation d'un nombre important d'ingénieurs locaux pour qu'ils se familiarisent avec la conception générale de l'analyse d'énergie et de son économie, et avec les technologies portant sur l'amélioration de l'usage efficace de l'énergie qui s'appliquent à leur industrie. Cependant, il faut reconnaître que la formation théorique n'en est que le commencement. La capacité des ingénieurs à entreprendre des audits et des études sur la conservation, similaires aux exemples utilisés dans le programme de formation, dépendra de leur acquisition supplémentaire d'expérience des conditions en vigueur dans l'industrie, et viendra avec l'assurance qu'une exposition à des usines et des problèmes différents développera. Un bon programme de formation serait d'aide à cet égard à travers l'incorportion d'une assistance complémentaire étendue: tout programme de formation doit permettre suffisamment de temps pour le développement du personnel de l'endroit.

1.2 Personnel à Former

En plus des "responsables de l'énergie" d'usines et des ingénieurs d'usine en général, tout programme national de formation devrait inclure du personnel en provenance des sociétés pétrolières, de gaz, de charbon, et d'électricité qui appartiennent souvent à l'état. D'après notre opinion, ce personnel a un rôle primordial à jouer en ce qui concerne la dissémination des principes de la conservation d'énergie dans tout le secteur industriel du pays concerné. Alors que les ingénieurs ont des responsabilités particulières au sein de leurs propres sociétés, il nous semble que le personnel des services publics (combustibles, électricité) peut travailler indépendamment sur une grande étendue d'industries, fournissant ainsi le catalyseur pour les programmes de conservation de sociétés et d'usines. Lorsqu'une installation industrielle étudie le genre d'activité qui devrait être amorcé, ce personnel pourrait être rendu disponible pour aider dans les audits énergétiques initiaux et dans la planification du programme de conservation le plus approprié à cette usine.

De plus, nous suggérons qu'un programme de formation comprenne une série de cours de courte durée pour la maîtrise et la direction pour expliquer les principes de base de la conservation de l'énergie dans l'industrie, les techniques de base d'audits énergétiques, et les considérations financières et économiques pertinentes. Nous croyons aussi que les personnes en charge des questions financières dans les sociétés devraient avoir une certaine appréciation du rôle que la gestion de l'énergie peut jouer dans les opérations d'une compagnie. Il est important que les directeurs de production soient pleinement familiers avec les procédures de gestion d'énergie et c'est à travers ces cours "abrégés" que nous espérerions initier une chaine allant des ingénieurs effectuant du travail détaillé de conservation jusqu'à leur Direction.

1.3 Structure du Programme de Formation

Sur la base de notre expérience dans divers pays en voie de développement, au Royaume Uni et aux Etats-Unis, nous avons développé quelques indications de marche à suivre pour un programme de formation dans la gestion de l'énergie dans l'industrie. Ce programme se repose de façon très étendue

sur notre travail en Tunisie, en République Populaire de Chine, au Kenya, au Soudan et en Turquie.

Toutefois, il nous semble qu'un programme de formation devrait être un exercice continu, disséminant une sensibilisation aux problèmes de l'énergie, les techniques pratiques de la collecte de données et de leur analyse, et le développement de programmes de conservation par les sociétés pour tout le secteur industriel d'un pays. Pour cette raison, nous pensons que le programme décrit ici est un bon début, mais qu'il n'est pas suffisant pour accomplir des résultats nationaux réels de manière significative: c'est-à-dire, pour que puisse être échafaudée une capacité locale à effectuer des audits énergétiques et des études sur la conservation de l'énergie afin d'établir des programmes permanents de conservation de l'energie dans un grand nombre de sociétés. Pour que cela ait lieu, un effort continu sur plusieurs années est nécessaire. En effet, la formation est une activité vitale qui devrait être considérée comme une nécessité continue dans le but d'arriver à une amélioration de l'utilisation efficace de l'énergie dans l'industrie. Cette formation doit être complémentée par des activités telles que des démonstrations de nouvelles technologies, l'établissement de motifs d'encouragement à l'investissement de capitaux, et la création de politiques de tarification appropriées pour les produits énergétiques.

Donc, nous recommandons qu'un programme de formation similaire soit entrepris régulièrement pour le bénéfice de 20 participants au plus à chaque fois. Les résultats du premier programme de formation devraient être utilisés pour modifier le programme suivant (en mettant l'accent sur des zones évidentes de besoins, par exemple, spécifiques pour le pays en question).

Avant de discuter des détails de chaque élément de ce programme, nous voudrions faire remarquer que le programme de formation a été préparé pour des ingénieurs sans tenir compte des industries représentées par ces ingénieurs. D'après notre expérience (E/DI Europe) qui couvre un grand nombre d'industries dans un grand nombre de pays, la plus grande partie du travail portant sur la conservation de l'énergie est commune à toutes les industries. Les principes de mesurage, l'organisation des données et leur analyse, les évaluations des coûts et bénéfices, et les programmes sur la conservation du point de vue d'une société/national devraient donc être enseignés à tous. Bien sûr, des tâches assignées au sein d'industries particulières peuvent être données de temps à autre tout au long de la durée du programme, mais nous préférerions souligner les méthodes communes à la gestion de l'énergie, plutôt que les différences relativement mineures. Une conservation énergétique qui a du succès est rarement une question de technologie; c'est presque toujours une question de recueil systématique de données et de leur analyse, et d'une gestion organisée correctement.

Naturellement, il peut y avoir des exceptions à cette méthode qui sont nécessaires en raison des conditions locales, spécialement lorsqu'un progrès significatif en gestion de l'énergie dans l'industrie peut avoir déjà été fait. Pour cette raison, l'étape "diagnostique" est importante (voir ci-dessous), car c'est à travers cette tâche que la conception du programme le plus approprié aux besoins d'un pays particulier peut être fait. Tout programme doit tenir pleinement compte du niveau de la sensibilisation aux ploblèmes de l'énergie et du niveau de gestion d'énergie déjà achevés; il doit s'occuper des priorités du pays et d'industries particulières, comme il convient.

1.4 Diagnostic et Planification

L'étendue du travail à effectuer doit être définie correctement au cours du premier mois du programme de formation. Pour ce qui concerne un pays seulement, nous considérons suffisante la visite de disons deux experts pour une ou deux semaines dans le pays en question (le travail préparatoire étant effectué par correspondance). Les résumés des participants éventuels au cours de formation seraient examinés et des recommandations pour la liste finale seraient faites à l'agence appropriée du gouvernement en question. La liste d'invitation pour les particiapnts au cours comprendrait bien sûr le séminaire introductoire "d'administration".

Au cours de cette période, on déciderait autant que possible du calendrier et de la logistique pour tous les éléments du programme, et du contenu précis du cours, en n'oubliant pas l'avantage de coordonner le programme de formation avec toute autre mesure de gestion de l'énergie en cours de progrès. Naturellement une certaine flexibilibé dans le calendrier des tâches assignées et dans les visites d'usine doit être maintenue.

Cette période comprendra aussi des discussions avec les représentants du gouvernement sur les cours individuels et sur le contenu du cours en général, pour définir les sections du programme de formation qui pourraient être données par du personnel local, et pour arriver à un accord sur le contenu détaillé du cours qui soit approprié au niveau de connaissance et à l'expérience des participants. L'expérience acquise par le personnel local en donnant lui-même des cours s'avèrerait sans prix pour la formation continue que nous considérons comme essentialle dans les années à venir.

1.5 Séminaire d'Administration

Un séminaire introductoire d'une semaine environ serait donné au personnel de Direction des sociétés des services publics à celui des sociétés d'approvisionnement en combustible, à celui des agences gouvernementales, et à celui des installations industrielles. Ceci donnerait la possibilité de passer en revue, avec les ingénieurs en chef, les directeurs, et les responsables financiers, le programme de formation envisagé sur la gestion de l'énergie dans l'industrie. Les bénéfices potentiels de la conservation de l'énergie dans le secteur industriel tout entier leur seraient soulignés. Une courte introduction portant sur les techniques d'audit énegétique et sur la gestion de l'énergie en général serait donné: il est à espérer que le séminaire produira une sensibilisation améliorée vers la nécessité d'économiser l'énergie et avant tout, la nécessité pour un soutien (par la Direction) du travail effectué par les ingénieurs et par les responsables de l'énergie.

1.6 Séminaires de Formation

Des cours sur les principes et techniques de conservation de l'énergie devraient être donnés aux ingénieurs, aux responsables de l'énergie et autre personnel concerné. Les sujets discutés devraient au moins comprendre la liste suivante:

1. Introduction au programme et formation à la gestion de l'énergie dans l'industrie, en général - arrière plan, objectifs, etc.

2. Une revue de la consommation d'énergie et de la situation énergétique dans le pays ou la région en question.

3. La structure détaillée du programme de formation (cours, isites d'usines, tâches assignées d'audits, formation à l'étranger, etc.), y compris les objectifs de chaque tâche, les procédures, logistique, responsabilités des participants, etc.

4. Principes de la conservation d'énergie.

5. Information de base - combustibles alternatifs et leurs caractéristiques, unités communes de mesures et facteurs de conversion, valeurs calorifiques, etc.

6. Audits énergétiques - le but des audits, l'étendue d'un audit énergétique, les formulaires de données et les questionnaires, l'analyse des données, bénéfices d'audits, procédures à adopter, instruments (portatifs, permanents).

7. Opérations unitaires de base - nous nous concentrons sur les opérations les plus importantes (combustion, production de vapeur) mais nous incluons une discussion des opérations suivantes:

   - Combustion
   - Transfert de chaleur
   - Evaporation
   - Séchage
   - Distillation
   - Chaudières et systèmes de vapeur
   - Gestion de la demande d'électricité
   - Cogénération
   - Systèmes d'air comprimé de l'usine

   Ces cours comprennent une discussion des principes théoriques de base, des applications pratiques, des méthodes de calcul (énergétiques et "raccourcies"). Une variété d'exercices de calcul à effectuer par les participants est donnée en exemple, ainsi que des études de cas pratiques et des films appropriés au sujet en question.

8. Analyse de procédé - une courte revue du besoin d'analyser les procédés particuliers utilisés dans des industries différentes, avec des exemples de comparaisons internationales de consommations énergétiques particulières dans un assortiment d'industries et les restrictions de cette méthode.

9. Eclairage industriel, etles possibilités importantes de conservation dans ce domaine.

10. Conditionnement d'espace de bureaux et autres bâtiments industriels, y compris les formulaires d'audit et les paramètres influençant l'utilisation de l'énergie.

11. Listes de vérification des mesures de conservation applicable en général

dans le secteur industriel, arrangés selon les opérations unitaires discutées précédemment.

12. Mesures de conservation dans des industries particulières, et le besoin pour l'établissement d'objectifs, avec des exemples d'études de cas actuelles dans des pays en voie de développement et industrialisés.

13. Programmes de conservation caractéristiques de sociétés et d'usines, y compris des études de cas et de marches à suivre en ce qui concerne le développement de programmes efficaces.

14. Aspects économiques de la conservation de l'énergie, y compris les procédures courantes de calcul employés pour le remboursement, le taux de rendement, etc.

En concertation avec les cours mentionnés ci-dessus, une série de visites d'une journée sont faites normalement à des usines sélectionnées (disons trois ou quatre usines avoisinantes). Ces visites sont destinées à renforcer les cours avec des démonstrations pratiques des principes en cause, et sont utilisées en vue des visites plus longues devant être effectuées à un stade futur du programme. Ces visites servent donc d'introduction pour les participants, à:

- L'utilisation de formulaires d'audit et de techniques pour l'obtention de données,
- L'identification de zones difficiles dans le domaine de l'utilisation d'énergie, à l'aide de l'analyse de données et de l'inspection de l'usine même
- le maniement d'instruments portatifs pour le diagnostic de la performance de l'usine.

Les participants au programme sont habituellement séparés en deux groupes pour chaque visite, les participants alternant entre ces deux groupes pour les différentes visites:

Groupe 1 se concentre sur le recueil des données et l'utilisation des formulaires d'audit. Les responsabilités de ce groupe comprennent l'obtention des données de base sur la consommation d'énergie et les niveaux de production, l'obtention de détails sur les procédés de fabrication employés et sur les unités/l'équipement principal de production, et l'inspection de l'usine brièvement (principalement pour gagner une impression générale des techniques et de l'efficacité de l'exploitation, et pour établir un rapport entre les données recueillies et l'usine physique correspondante).

La tâche d'inspecter certaines sections de l'usine revient au Groupe 2. Cette tâche consiste à noter l'emplacement de points de mensuration importants et la disponibilité (ou manque) de données sur les paramètres d'exploitation-clé (débits, pressions, températures, etc.). Des démonstrations portant sur l'emploi d'instruments portatifs sont données à ce groupe.

Il est important de noter qu'il n'y a pas de conclusions tirées des données recueillies lors des visites initiales.

1.7 Tâches d'Audits

Afin d'entreprendre des "audits courts" dans des usines sélectionnées, les participants sont divisés en groupes de 6 ou 7 pour le second stade de la formation. L'objectif des "audits courts" est:

- de former les ingénieurs locaux dans les procédures d'audit énergétique et les techniques de recueil de données et de leur analyse (y compris l'utilisation d'instruments portatifs),

- de recueillir les données de consommation d'énergie pour d'importants usagers industriels sélectionnés.

- d'identifier et quantifier les possibilités d'économies d'énergie dans les usines.

En raison du temps restreint à notre disposition, l'étendue des audits sera nécessairement limitée. Toutefois, ils serviront d'expérience pratique pour les participants qui devraient ensuite être plus en mesure de développer des audits plus détaillés, lorsque nécessaire, dans leurs propres usines.

Le détail des programmes d'audits courts est habituellement développé lors des visites antérieures de la durée d'une journée. Chaque groupe de participants sera lui-même divisé en deux durant le travail d'audit, quelques ingénieurs se concentreront sur l'examen des registres se rapportant à l'utilisation de l'énergie et à remplir les formulaires complets d'audits, et d'autres ingénieurs effctueront des essais dans les usines.

Les ingénieurs devront être placés autant que possible dans les groupes s'occupant de leur industrie particulière, le reste de chaque groupe étant composé de personnel des services publics (électricité, gaz), de celui de sociétés pétrolières et de personnel en provenance d'agences gouvernementales. Chaque groupe passera une semaine environ à exécuter une tâche particulière se rapportant au travail d'audit énergétique et à l'identification de mesures de conservation. Le travail devra comprendre le recueil de données se rapportant à l'usine, et du temps devra aussi être alloué pour que le groupe travaille avec leurs chargés de cours (2 à chaque groupe) afin de faire, durant la deuxième semaine, une analyse préliminaire des données. Les participants doivent avoir la possibilité de jouer un rôle actif lors de la rédaction du rapport final.

2. FACONS D'ABORDER LES PROGRAMMES DE CONSERVATION

Les mesures prises par les gouvernements pour stimuler la conservation de l'énergie sont justifiées en général par des bénéfices possibles notables. Le genre de mesures que les gouvernements peuvent prendre comportent la subvention d'audits d'usines et de programmes de formation. En effet, l'élément de formation du projet Tunisien a été de première importance. Les agences internationales sont souvent préparées à fournir des subventions ou des prêts à termes préférentiels afin de permettre aux pays en voie de développement d'entreprendre des programmes de conservation dans l'industrie.

Naturellement, la difficulté d'effectuer une amélioration du rendement énergétique n'est pas seulement le problème des pays industrialisés. D'après une étude récente, il a été déduit qu'un potentiel d'économie de 14% existe au Royaume Uni grâce à des projets offrant un remboursement de moins de 3 ans. Un petit nombre seulement des sociétés sujettes de l'enquête avaient mis en oeuvre la variété entière de mesures techniques possibles d'économie d'énergie. Trois barrières principales à la conservation ont été relevées:

1. La barrière de connaissance. Un grand nombre des sociétés avec lesquelles nous nous sommes entretenues ne s'étaient pas rendues compte du nombre de possibilités financièrement attrayantes et techniquement possibles d'économies d'énergie. Un grand nombre n'avait pas non plus fait grand usage des sources de renseignements et de conseils qui sont disponibles.

2. Gestion de l'énergie. Il est évident que les compagnies possédant les systèmes de gestion d'énergie les plus sophistiqués ont fait le plus de progrès en ce qui concerne la réalisation d'économies d'énergie. L'effet que le plus simple suivi et contrôle de l'énergie ainsi que l'établissement d'objectifs ont eu sur l'attitude de la direction ont été particulièrement sensibles.

3. Etablissement du budget. L'évaluation financière des investissements destinés à la conservation était souvent très mal préparée; étant basée sur de courtes périodes de remboursement qui ignoraient certains des aspects particuliers de l'investissement destinés à la conservation de l'énergie - notamment leur longeur de vie, le peu de risque et les économies liées à l'inflation des prix de combustible. Des analyses financières plus sophistiquées en auraient pris compte.

Le rapport a donc recommandé l'amélioration de l'importance donnée par l'administration de sociétés au problème de la conservation de l'énergie; l'amélioration des informations gouvernementales et des services de conseil; l'augmentation de la publicité concernant la conservation et un examen de l'aide financière sélective accordée à l'industrie entraînant peut-être des prêts bancaires à plus longue échéance et des systèmes de "payer au fur et à mesure que vous épargnez". Ces conclusions et ces recommandations peuvent être mises généralement en pratique dans les pays industrialisés et ceux en voie de développement.

Au niveau de l'usine, l'administration de chaque société doit entreprendre des audits internes afin de déterminer le montant d'énergie utilisé à chaque étape importante de transformation. Elle devrait aussi lancer un système de

suivi et de contrôle efficace de la consommation d'énergie. On devrait procéder à un examen des zones pouvant être rendues plus efficaces et entreprendre des évaluations nécessaires des coûts et bénéfices. Mais avant tout, la direction générale de chaque société doit prendre un vif intérêt dans le problème de la conservation de l'énergie. La gestion efficace de l'énergie dans une installation industrielle a besoin:

(1) De l'engagement de toutes les personnes concernées.
(2) D'échange d'information au sein de la compagnie.
(3) D'une organisation (ou structure) qui aboutisse à des responsibilités et à des pouvoirs bien définis.
(4) De l'engagement du personnel à différents échelons dans l'établissement d'objectifs d'amélioration.
(5) D'un sens de direction pour ce qui est du travail d'amélioration de l'efficacité (comme celui donné par un Directeur de l'Energie).
(6) De compétence en matières techniques et économiques afin d'évaluer et d'exploiter à fond les possibilités de conservation.

Pour finir, il est particulièrement important de souligner que la conservation de l'énergie n'est pas un concept négatif. C'est essentiellement l'amélioration de l'efficacité de l'usage fait de l'énergie, permettant une poursuite du développement économique et une amélioration des niveaux de vie. Nous devons reconnaître toutefois que les changements dans les attitudes et dans la façon établie de faire les choses ne peuvent être accomplis que lentement. Il arrive souvent que les occasions se présentant pour effectuer des économies d'énergie ne sont pas saisies même lorsqu'une raison financière de première classe existe. Nous devons en conclure qu'il faut encore en faire plus pour stimuler à la fois l'intérêt et des mesures actives.

SEPTIEME SEANCE: ANALYSE DU RENDEMENT ENERGETIQUE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

1. CONSERVATION AU NIVEAU DE L'USINE

Avant de discuter des procédures de vérification (audit) énergétique qui sont utilisées pour identifier les possibilités d'économies d'énergie, il faut comprendre un certain nombre de principes de base qui s'appliquent à la conservation de l'énergie en général.

(1) La manière et l'étendue de tout l'usage fait de l'énergie devrait être examinée.

(2) Un élément essentiel de la conservation de l'énergie est le mesurage systématique de l'énergie consommée par l'usine et des débits de matériel.

(3) Pour effectuer des mesures précises des débits d'énergie et de matériel, il est nécessaire d'utiliser des instruments bien étalonnés et entretenus.

(4) Un montant maximum de travail devrait être obtenu à chaque étape de diminution de température ou de pression.

Comme nous le verrons, les audits énergétiques d'usines sont utilisés pour déterminer les schémas d'utilisation de l'énergie et pour évaluer l'efficacité actuelle de l'utilisation de l'énergie. Sur la base de ces audits énergétiques, il est habituellement possible d'identifier les possibilités de conservation de l'énergie dans les catégories suivantes:

(1) Mesures d'amélioration de l'exploitation de routine: l'amélioration du rendement nécessitant peu ou pas d'investissement (efficace au court terme).

(2) Petits investissements: des modifications relativement simples des usines (offrant des économies au moyen terme)

(3) Grands investissements: le remplacement substantiel ou la modification substantielle de l'usine (offrant des économies du moyen au long terme).

Vous trouverez ci-dessous quelques mesures de conservation caractéristiques de ces catégories:

Amélioration de l'exploitation de routine
- Suivi et contrôle de la consommation d'énergie
- Contrôle plus rigoureux des opérations
- Amélioration de l'entretien
- Elimination des fuites
- Amélioration de l'établissement des programmes

Petits invstissements
- Amélioration de l'isolement
- Meilleur appareillage
- Récupération du condensat
- Addition d'échangeurs de chaleur
- Eclairage à plus grand rendement
- Préchauffage de l'air de combustion
- Amélioration du facteur de puissance
- Nivellement de la charge d'électricité

Grands invstissements
- Remplacement des chaudières
- Remplacement d'unités périmées
- Changement de procédé
- Reconstruction de fours avec incorporation de récupérateurs

En règle générale, les améliorations pouvant être quantifiées, effectuées dans les usines, seront le résultat de l'effort accumulé d'un grand nombre de petites actions plutôt que le résultat d'un ou deux investissements spectaculaires. La contribution faite par l'amélioration de l'exploitation de routine est importante et il est vrai que les améliorations du rendement énergétique grâce à une amélioration de l'exploitation de routine peuvent être obtenues relativement facilement à l'aide d'une meilleure gestion dans un grand nombre d'usines. Il est regrettable aussi de constater que les succès achevés par l'amélioration de l'exploitation de routine peuvent être facilement perdus à moins que la poussée vers l'efficacité soit maintenue tout au long du long terme.

2. INTRODUCTION AU TRAVAIL D'AUDIT

Un élément intégral d'un programme énergétique national est une connaissance de la demande industrielle d'énergie désagrégée. Des encouragements effectifs pour un usage efficace de l'énergie ne peuvent pas être conçus sans la possession d'une connaissance détaillée des schémas de consommation d'énergie dans le secteur industriel. Au niveau de l'usine, un programme effectif de gestion de l'énergie doit être lié à un but ou objectif numérique. Afin de définir de tels objectifs pour réduire le gaspillage et améliorer le rendement énergétique, chaque usine doit savoir exactement de quelle énergie elle a besoin: une procédure pour définir l'usage fait de l'énergie et pour mettre les registres périodiquement à jour est essentielle. Une telle procédure est fournie par un audit énergétique qui comprend:

(1) Le suivi et le contrôle du genre et de la quantité de combustibles et d'électricité consommée.

(2) La liaison des consommations d'énergie et des coûts à la production de l'usine.

(3) L'identification des activités et des étapes pricipales du processus quand l'énergie est utilisée.

(4) L'identification des possibilités d'économies d'énergie.

Le but d'un audit énergétique est donc de pourvoir les usines de moyens précis d'enregistrer la consommation et les coûts d'énergie, d'approvisionner les usines avec les renseignements nécessaires à l'identification de possibilités réelles d'économies d'énergie, et de fournir des données précises et étendues appropriées à la planification énergétique nationale. Un audit énergétique devrait être vu en tant qu'examen critique de l'installation industrielle.

Naturellement, il y a beaucoup de "niveaux" différents d'audits énergétiques, allant de la simple enquête de données jusqu'à l'examen très détaillé des données actuelles avec des essais de marche d'usine conçus pour fournir de nouvelles données. Un audit initial d'usine s'effectuera probablement, en moyenne, en 2-3 jours, suivant la complexité de l'usine et de la disponibilité (et exactitude) des données protant sur les opérations en cours. Ce genre d'audit bref ne peut pas être très sophistiqué, mais il est très utile pour révéler les insuffisances en mesurage. Le but d'un audit initial court est d'obtenir rapidement des données et des économies d'énergie; l'exactitude viendra plus tard avec l'expérience.

Un audit énergétique d'usine plus étendu suivra habituellement le premier audit court, et celui-ci peut nécessiter de plusieurs semaines à plusieurs mois pour compléter. Des études détaillées sont effectuées pour établir et examiner l'énergie et les balances de matériel concernant des services spécifiques d'usine ou des pièces d'équipment de procédés. Le rapport énergétique comprendra une description des apports d'énergie et de la production par section principale ou par fonction principale du processus, et il évaluera le rendement de chaque étape du processus de fabrication. Une liste sera faite des moyens possibles d'amélioration de ces rendements et une évaluation préliminaire, au moins, sera faite du coût de ces améliorations

pour indiquer le remboursement attendu de tout investissement de capitaux nécessaire. Le rapport d'audit s'achèvera en donnant des recommandations spécifiques pour les études d'engineering et analyses de faisabilité, qui doivent être ensuite accomplies afin de justifier la mise en oeuvre des mesures de conservation nécessitant des investissements.

Il est essentiel d'avoir dans son personnel des ingénieurs ayant une grande expérience des opérations d'installations industrielles, afin d'exécuter ce genre de travail d'audit avec succès. Deux zones d'expérience de base sont nécessaires dans un groupe d'audit:

(1) Une expérience et familiarité avec les "services de l'installation", tels que la production de vapeur et les systèmes d'air comprimé,

(2) Une expérience du côté "procédé" des operations de l'installation industrielle, par exemple, la production de ciment, les procédés chimiques, etc.

La possession d'une expertise dans les procédés est importante pour mener à bien tout audit détaillé. Lorsque des experts venant de l'extérieur sont utilisés pour effectuer le travail, il est aussi important qu'un ou plusieurs ingénieurs de l'usine même travaillent de près avec ces experts pour les aider à acquérir une compréhension rapide des opérations de l'usine, et d'apprendre eux-mêmes les techniques utilisées pour amasser les données et l'analyse des ces données.

3. RENSEIGNEMENTS OBTENUS AU COURS D'UN AUDIT

Les renseignements à assembler au cours des audits se situent dans les catégories suivantes:

(1) La consommation d'énergie par genre d'énergie, par section, par pièces principales d'équipement de procédé, par usage final (par exemple éclairage, chaleur de procédé)

(2) Les données de balances de matériel (matières premières, produits intermédiaires et produits finis, sous-produits, etc.)

(3) Données sur la tarification et les coûts de l'énergie

(4) Diagramme des flux de procédé

(5) Données sur l'approvisionnement des services auxiliaires (par exemple, l'eau de refroidissement, l'air comprimé, la vapeur)

(6) Les sources d'approvisionnement en énergie (par exemple l'électricité provenant du réseau ou auto-produite)

(7) Possibilités de substitution de combustible, modifications de procédés, et l'utilisation de systèmes de cogénération (production conjuguée de chaleur et d'électricité)

(8) Procédures de gestion de l'énergie et programmes de formation au sein de l'établissement portant sur la prise de conscience du problème de l'énergie.

Un exemple de questionnaire pour la collecte des données utilisé lors d'un audit étendu se trouve au Tableau L. Bien que les questionnaires forment une partie intégrale de l'audit, ils ne constituent pas l'audit entier. Les formulaires représentent une façon systématique d'assembler les données de base qui d'après notre expérience, sont pertinentes pour tous les audits. Toutefois, ces questionnaires doivent être soutenus par les observations faites lors de l'inspection de l'usine et par les mesurages pris à l'aide d'instruments portatifs ou fixes installés sur chaque équipement important utilisateur d'énergie tels que les chaudières et les fours. L'audit n'est terminé que lorsque toutes les données recueillies ont été analysées et qu'un rapport final (incorporant des recommandations) a été préparé et présenté à la Direction.

4. INSTRUMENTS DE DIAGNOSTIQUE.

Les instruments utilisés typiquement lors d'un audit comporteront de l'équipement portatif pour suppléer aux mesurages existants pour les flux de l'usine, la température et la pression. Ils seront utilisés par les ingénieurs d'audit pour les aider à diagnostiquer la performance des opérations de l'usine. Un nombre de ces instruments est décrit ci-dessous:

(1) Pour les procédés de combustion, équipement d'analyse des gaz brûlés pour déterminer les teneurs en oxygène, en CO, et la température du gaz. Aujourd'hui ceux-ci peuvent être des instruments électroniques donnant une lecture continue des paramètres clés et étant capable de faire le calcul automatique de l'efficacité de la combustion. Une pompe à suie est aussi utile.

(2) Pour les mesures directes de températures, il existe des thermomètres digitaux miniatures pourvus de divers sondes et cables.

(3) Un pyromètre infrarouge pour les mesures de températures effectuées sans contact.

(4) Un tube de pitot et un manomètre pour les mesures de débit de gaz et d'air.

(5) Un voltmètre à pince, un ammètre, un compteur de consommation d'électricité, et un compteur de facteur de puissance pour les mesures relatives à l'électricité.

De plus, il est quelques fois utile de posséder un compteur portatif de l'humidité relative pour l'analyse de procédés de séchage, ainsi qu'une collection diverse de jauges de pression et d'enregistreurs pour installation provisoire dans l'usine lors d'audits prolongés.

5. PROCEDURES FONDAMENTALES

Les détails des procédures à adopter varieront selon l'étendue des audits à effectuer et selon la taille et le genre des installations. Néanmoins, les procédures suivantes sont généralement communes à tous les audits:

lère étape: Planifier le projet tout entier. Ceci comprend l'établissement des objectifs de l'audit, divisant l'installation industrielle en services

Tableau L. QUESTIONNAIRE ETENDUE SUR LA COMPABILITE ENERGETIQUE

A. Identification

1. Nom de la société
2. Adresse postale complète
3. Téléphone
4. Personnes interviewées
5. Titulaires de / occupant le poste de
6. Siège social
7. A quelle branche de l'industrie l'usine appartient-t-elle?

- Mines
- Textiles
- Alimentation
- Divers
- Materiaux de construction
- Mécenique/électrique
- Raffinage du pétrole
- Papier
- Chimie
- Génération électricité

8. Date d'entrée en service de l'usine
9. Nombre d'employés

B. Activités des procédés industriels

10. Prière d'inclure l'organigramme de votre usine avec indication des opérations principales.
11. Dresser la liste des unités de procédés (étapes de fabrication), y compris les unités ayant rapport à la production d'électricité ou autres utilités (par ex.: chaudières, génération d'électricité, d'oxygène, d'air comprimé)

C. Matières premières et produits

12. Dresser la liste des matières premières consommées. Indiquer leur provenance et les moyens d'acheminement vers l'usine.

Matières premières	Quantité	Unité	Provenance	Transport

13. Dresser la liste des matériaux re-cyclés ou ré-utilisés

Matières premières	Quantité	Unité	Provenance	Transport

14. Les sous-produits ou déchets provenant de cette usine sont-ils utilisés ailleurs?

15. Gamme des principaux produits:

Produit	Unités	Capacité de l'usine	Production enregistrée	Valeur des produits vendus

D. Approvisionnement/consommation d'énergie

16. Compléter le tableau pour tous les types de combustibles utilisés; pour combustible non utilisé, marquer d'un zéro.

Type d'énergie	Valeur calorifique	Quantité par an	unités	Coût par an	Prix actuel	Source
électricité acquise						
gaz naturel						
charbon						
coke						
bois						
charbon de bois						
GPL						
distillats* de fuel oil						
fuel oil* résiduel						
Divers (préciser)						

*Préciser grade/spécifications du fuel oil

17. L'électricité est-t-elle générée dans l'usine? ☐ Oui ☐ Non

18. Dans l'affirmative, quel est le type de générateur installé?

☐ diesel ☐ turbine à gaz ☐ turbine à vapeur

☐ chaudière de récupération de chaleur ☐ autre

19. Quelle est la capacité auto-génératrice installée? _____ kW

20. Quelle est la quantité d'électricité générée dans l'usine au cours de l'année précédente? _____ kWh

21. Quels sont les combustibles utilisés pour l'auto-génération?

Type de combustible	Quantitée consommée	Unités

22. Une augmentation de la capacité auto-génératrice est-elle nécessaire? ☐ ☐

Préciser.

E. Génération combinée de chaleur/électricité (co-génération)

23. Un système de co-génération est-il-installé dans votre usine?

24. Dans l'affirmative, donner détails sur le système:

source d'énergie	production de chaleur	vapeur	production d'électricité
pour quel usage?			
type d'équipement			

25. Date de mise en service du système _____

26. Est-il envisagé d'installer un système de co-génération ou d'en augmenter la capacité?

F. Consommation d'électricité

27. Quelle est la capacité installée totale des moteurs et autre équipement? _____ kW

28. Indiquez les tensions utilisées _____

29. Donner des précisions sur la consommation annuelle la plus récente:

Electricité	kWh consommés
Acquise:	
Auto-générée:	

30. La consommation d'électricité varie-t-elle selon les jours ou les saisons?

_____

31. Une courbe de la charge journalière est-t-elle disponible?

☐ oui, copie ci-inclus ☐ non

32. Quel est le facteur de puissance moyenne pour l'usine? _____

33. Faire l'estimation de l'électricité utilisée selon les catégories indiquées ci-après:

	Quantité (avec unités)	Pourcentage de l'électricité totale
Puissance motrice (moteurs)		
Chauffage		
Eclairage		
Divers (préciser)		

Nota: En cas de manque de données précises, des estimations approximatives sont acceptables.

G. Chaudières

34. Combien de chaudières installées? _____

35. Des altérations ou une augmentation sont-elles envisagées?

_____

36. Compléter le tableau suivant pour chaque chaudière:

	Unités	Chaudière	Chaudière	Chaudière
Type/modèle				
Capacité de vapeur				
Pression de la vapeur				
Température de la vapeur				
Type de combustible				
Combustible consommé				
Vapeur produite				
Rendement estimé				

37. Quelle est la source d'alimentation en eau pour la chaudière? _____

38. Quel est le système d'épuration de l'eau utilisé? _____

39. Quelle est la qualité de l'eau après épuration? _____

40. Quelle est la consommation d'eau?

Quantité	Unités

41. Quel est le pourcentage de condensat ré-utilisé? _____

42. Quelle est la demande de pointe pour la vapeur? _____

H. Utilisation de l'énergie

43. Quelles sont les divisions et unités de procédés les plus grosses consommatrices d'énergie?

unités principales	type et quantité d'énergie utilisée	consommation spécifique d'énergie	rendement	autres combustibles*

*avec ou sans modifications portées à l'usine

44. Quelle est la quantité d'énergie utilisée pour le chauffage/refroidissement des bâtiments?

45. Quelle est la quantité d'énergie utilisée pour le maniement et le transport d'ordre mécanique dans l'enceinte de l'usine?

46. Les réservoirs de fuel oil sont-ils chauffés? ☐ Oui ☐ Non

47. Dans l'affirmative, par quels moyens?

48. De quelle manière le système est-il régulé?

I. Gestion Energétique

49. Qui est responsable de la gestion énergétique?

Nom:

Poste ou fonction:

Plein temps/mi-temps:

Qualifications, experience:

50. Votre usine comprend-elle une "équipe de l'énergie"? ☐ Oui ☐ Non

Dans l'affirmative, combien de personnes dans l'équipe?

51. Votre usine comprend-elle un "comité de l'énergie"? ☐ Oui ☐ Non

52. Dans l'affirmative, faire la liste des membres d'un tel comité et indiquez leurs titres:

Nom	Titulaire	Nom	Titulaire

53. Quelles sont les tâches et responsabilités du comité de l'énergie?

54. Comment la consommation d'énergie est-elle contrôlée et régulée:

☐ par une direction à l'échelon supérieur seulement?

☐ par chaque usine faisant partie de la société?

☐ d'une manière de routine ☐ de temps en temps?

- indiquez la date du dernier contrôle complet:

55. L'analyse de la consommation énergétique est-elle faite

☐ selon les diverses sections (tels que "bureaux", "usine", etc.)?

☐ selon l'équipement principal (fours, chaudières, etc.)?

☐ selon l'usage final (éclairage, chaleur pour procédés, équipement rotatif, etc.)?

☐ selon les produits fabriqués?

☐ selon la consommation totale mensuelle?

56. Quelles sont les unités de mesure employées?

57. La consommation de chacune des différentes formes d'énergie est-elle convertie en une unité énergétique commune tels que kilocalories, BTU, kWh?

☐ oui ☐ unité?

☐ non

58. L'analyse examine-t-elle également le rapport existant entre l'énergie utilisée et le niveau de production?

☐ oui ☐ non

59. Décrire brièvement la façon dont la comptabilité énergétique est tenue:

60. La consommation d'énergie actuelle est-elle différente par rapport à celle consommée durant d'autres périodes ou dans d'autres usines semblables? Préciser:

61. La consommation d'énergie est-elle ajustée de façon à suivre les modifications de la qualité des produits, du type ou qualité matières premières, des conditions climatiques, de l'utilisation à capacité, etc.? Préciser:

62. Des objectifs spécifiques quantitatifs sont-ils visés par la direction relatifs à

- [ ] la consommation totale d'énergie?
- [ ] la consommation spécifique d'énergie?
- [ ] les économies d'énergie (réduction de l'utilisation en %)?
- [ ] l'apport d'améliorations à certains procédés ou étapes de fabrication?

63. Quelles sont les actions prises pour éduquer le personnel en matière de procédures permettant l'économie d'énergie?

64. Existe-t-il un système bien établi de maintenance préventive? (Préciser.)

J. Problèmes et activités relatives à la branche économies d'énergie

65. Faire le point des problèmes énergétiques principaux tels qu'ils sont perçus par le personnel de direction:

66. Quels sont les obstacles à l'amélioration du rendement énergétique?

67. Quelles études ont été faites ayant rapport à l'amélioration du rendement énergétique?

68. Indiquer en résumé les activités en matière d'économies d'énergie qui ont déjà été lancées ou qui sont envisagées (avec mention de la date prévue):

69. Quel potentiel existe-t-il pour l'utilisation de types d'énergie non-conventionnelle ou renouvelable (tels que: bois, énergie solaire, éolienne, de la biomasse, du biogaz)?

d'exploitation (ou centres de dépense, comme il convient); la sélection des membres de l'équipe d'audit; et l'attribution des responsabilités.

2ème étape: Collecte des données fondamentales de consommation d'énergie et de production auprès des services/centres de dépense, à l'aide des formulaires fournis dans cemanuel (ou autre formulaire similaire).

3ème étape: Effectuer des essais de marche de l'installation dans le but d'assembler des données supplémentaires sur la performance de l'exploitation d'équipement spécifique, de srvices ou de centres de dépense.

4ème étape: Calcul des rendements et balances énergétiques.

5ème étape: Identification des procédures améliorées de gestion de l'énergie et evaluation des économies d'énergie, comme il convient.

6ème étape: Identifier les procédures améliorées d'exploitation et d'entretien, estimer les économies d'énergie pouvant être obtenues, et attribuer des responsabilités à des personnes spécifiques en vue de l'éxécution de toutes les mesures qui en valent l'effort.

7ème étape: Identifier les améliorations nécessitant peu de frais, estimer les frais d'exécution, calculer les possibilités d'économies d'énergie, et préparer les programmes d'exécution de tous les investissements ayant de l'attrait (spécifier qui fera quoi et quand).

8ème étape: Identifier les améliorations nécessitant de grands frais, estimer les coûts, calculer les possibilités d'économies d'énergie, et préparer des programmes détaillés de mesures promettant des remboursements attrayants.

9ème étape: Préparer un rapport à l'intention de la Direction faisant un sommaire des conclusions et recommandations de l'audit, et incorporant toutes les données amassées et les procédures utilisées dans des annexes techniques. Le rapport peut incorporer des recommandations pour des objectifs d'amélioration du rendement énergétique, basées sur les données assemblées lors de l'audit et sur les analyses effectuées.

6. EXEMPLES DE MESURES DE CONSERVATION D'ENERGIE

6.1 Améliorations de l'Exploitation de Routine

Si nous nous tournons vers le côté pratique de la gestion de l'énergie, il est utile de faire un examen de résultats caractéristiques obtenus récemment en Tunisie. La première catégorie d'améliorations est celle de l'exploitation de routine:

A. Procès-verbal de l'énergie

Un nombre important de données sur l'énergie et sur la production est disponible à l'aciérie d'El Fouledh, mais la plupart des données ne sont jamais rassemblées ensemble en un seul rapport régulier. Grâce à l'assemblage de renseignements en provenance de plusiers services, il a été possible de reconstruire la situation énergétique pour 1980, par service au sein de l'usine. Un exemple d'une partie de ce rapport est

donné au Tableau M. Ce n'est qu'en classifiant régulièrement les informations liées à l'énergie, et en arrangeant le rapport de telle façon que des comparaisons faciles puissent être faits, que l'on peut commencer à faire une enquête sur le rendement énergétique au niveau de l'usine (et au niveau du service dans l'usine).

B. Rendements des fours

Plusieurs fours de petite taille sont utilisés au complexe d'enrichissement de roche phosphatée de Metlaoui pour chauffer les réservoirs et les conduits de fuel oil. Des mesures ont été prises dans des conditions différentes d'allumage avec des analyseurs de gaz brûlés portatifs: quelques résultats sont donnés au Tableau N. Les pertes de gaz de carneau ont été calculées à environ 25-30%; les taux d'excès d'air étaient d'environ 60%. Un meilleur contrôle de l'usine devrait donner un taux d'excès d'air de moins de 20% (et des pertes de gaz de carneau plus près de 20%). Le calcul des rendements de four est relativement simple, et les principes de calcul sont donnés aux Tableaux O et P.

C. Programmation de l'usine

Les données obtenues dans les briqueteries en Tunisie illustrent l'impact qu'une programmation correcte des opérations peut avoir sur le rendement énergétique. Le Tableau J est une courbe de la consommation spécifique d'énergie comparée à la production pour une usine; les données mensuelles pour 1980 y ont été tracées. Le tableau indique que de hautes productions signifient de hauts rendements énergétiques: ceci est le résultat attendu parce qu'une grande partie de l'énergie utilisée dans les briqueteries est perdue à travers les murs des fours, quelle que soit la production. Le Tableau J suggère donc que la re-programmation des activités faite dans le but de maintenir une grande utilisation de la capacité de l'usine, pourrait conduire à des économies d'énergie de 25 à 30%, et cela sans investissements de capitaux.

Le tableau K donne des données pour un certain nombre de briqueteries. Une situation similaire peut être observée pour le secteur en général. Les possibilités d'économies d'énergie sont notables.

D. Fuites de vapeur

Un exemple du gaspillage considérable d'énergie pouvant être représenté par les pertes de vapeur ont été observées dans une usine à papier. La vapeur s'échappe dans l'atmosphère par une des soupapes de sûreté d'un réservoir utilisé pour digérer les matières premières servant à la fabrication de la pulpe. Dans la conception à l'origine de l'usine, la vapeur passait à travers des échangeurs de chaleur pour préchauffer l'eau de procédé. Toutefois, les échangeurs de chaleur commencèrent à fuire et furent mis hors de service, la vapeur passant à l'atmosphère. A l'aide de mesurages peu difficiles, la perte fut estimée à 58,000 de tonnes de vapeur par an; en supposant que 50% seulement de la perte d'énergie pourrait être récupérée et acheminée vers d'autres emplois dans l'usine (peut-être pour préchauffer l'eau de procédé, comme conçu à l'origine) les économies pourraient s'approcher de 400,000 dollars par an. Ces économies justifient clairement la réparation des échangeurs de chaleur installés à l'origine.

6.2 Petits investissements

L'amélioration de l'isolement de conduits chauds ou froids et de récipients

Tableau M

6. DEPT. LAMINOIR (Rolling Mills)

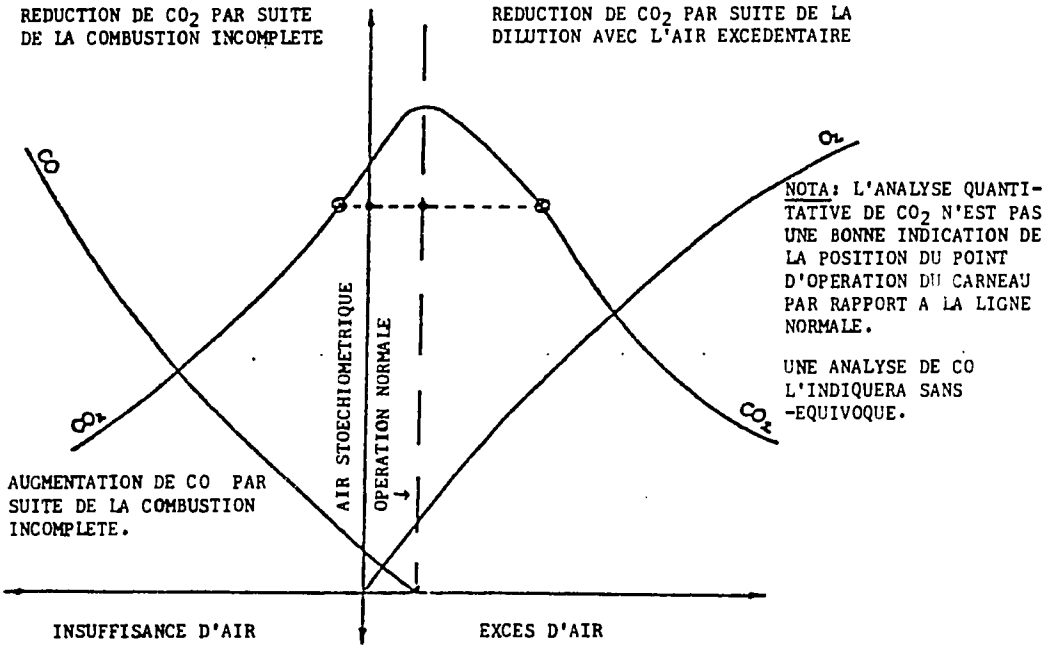
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	1980
MATERIALS														
L1 (Bar)	T	10344	10262	11597	11824	11883	10782	8063	8515	9692	10060	7794	11569	122715
L2 (F.)	T	4668	4095	4731	4601	1395	3626	3626	4091	4319	4640	2784	4339	46915
Total		15012	14357	16328	16425	13278	14408	11689	12606	14011	14708	10578	15908	169230
ENERGY														
No.1 line														
FO Lourd	T	647	622	697	726	753	675	574	591	57	623	495	649	7620
	TEP	634	610	683	711	738	662	563	579	56	611	485	636	7475
FOD 10^3	L													10
	TEP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
Electricity 10^3	Kwh	1270	1222	1243	1116	1100	1115	1025	1026	998	1142	969	1224	13450
	TEP	109	105	107	96	95	96	88	88	86	98	83	105	1157
Total TEP		743	715	790	807	833	758	651	667	652	709	568	741	8647
TEP/t prod.	10^{-3}	71.8	69.7	68.1	68.3	70.1	70.3	80.7	78.3	67.3	70.4	72.9	64.1	70.7
No.2 line														
FO Lourd	T	420	368	428	377	139	429	462	498	492	482	302	477	4075
	TEP	412	361	419	369	136	420	453	488	482	473	296	467	4770
FOD 10^3	L													11
	TEP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Electricity 10^3	Kwh	887	758	856	698	349	725	726	674	697	786	476	715	0347
	TEP	76	65	74	60	30	62	62	58	60	68	41	61	710
Total TEP		488	426	493	429	166	482	515	546	542	541	337	528	5504
TEP/t prod.	10^{-3}	104.5	104.0	104.2	93.2	119.0	132.9	142.0	133.5	125.5	116.6	121.0	121.7	117.3
General														
Gasoil pompe battit.	T													105
	TEP	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	90
Pompe Batt.	Kwh	60	71	50	46	52	50	75	54	77	73	45	34	687
P. laminoirs	Kwh	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	1584
Total 10^3	Kwh	192	203	182	178	184	182	207	186	209	205	177	166	2271
	TEP	17	17	16	15	16	16	18	16	18	18	15	14	195
Grand total	TEP	1255	1166	1306	1259	1022	1264	1191	1237	1219	1276	927	1291	14436
TEP/t prod.	10^{-3}	83.6	81.2	80.0	76.7	77.0	87.7	101.9	98.1	87.0	86.8	87.6	81.2	85.3

Tableau N

CONDITIONS DU GAZ DE CARNEAU ET DONNEES PROVENANT D'ESSAIS

DATE / HEURE	GRANDE FLAMME							PETITE FLAMME						
	% CO_2	% O_2	Fumée No.	Temp.°C du gaz de carneau	Temp. °C ambiante	Taux d'arrivage du combust. litre/h.	Pertes de gaz de carneau, % du fuel	% CO_2	% O_2	Fumée No	Temp.°C du gaz de carneau	Temp.°C ambiante	Taux d'arrivage du combust. litre/h	Pertes de gaz de carneau % du fuel
27.11.81 14.45	16÷17	0.6	6	480	25	-	25.44	-	-	-	-	-	-	-
16.10	-	-	-	-	-	-	-	10	9	5	358	25	-	25.58
28.11.81 09.10	-	-	-	-	-	-	-	10	9	7	331.5	20	-	23.0
09.40	-	-	-	-	-	-	-	9	9	7	333	21	164	25.98
10.20	-	-	-	-	-	-	-	8.5	9	6	359.5	23	187.5	29.16
10.40	-	-	-	-	-	-	-	9	9	-	357	-	201	27.89
11.10	-	-	-	-	-	-	-	8	9	6	351	23	196	30.3
							Moyenne	9.08	9	5.8	348.3	22.4	-	27.05

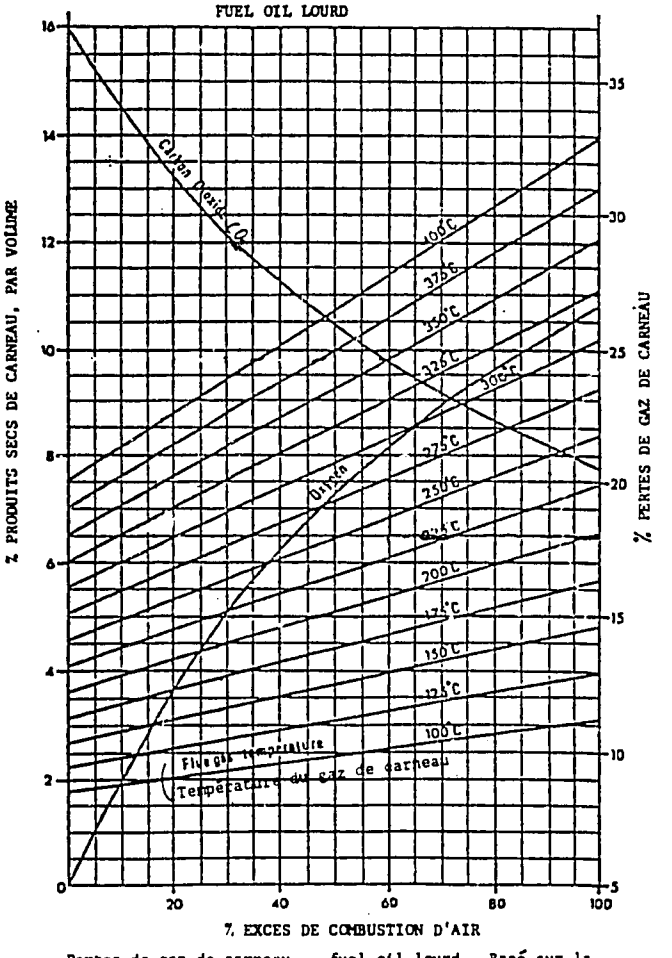
TABLEAU O: RAPPORT ENTRE L'EXCES D'AIR, LE NIVEAU DE CO_2, d'O_2 ET DE CO DANS LE GAZ DE CARNEAU



NOTA: L'ANALYSE QUANTITATIVE DE CO_2 N'EST PAS UNE BONNE INDICATION DE LA POSITION DU POINT D'OPERATION DU CARNEAU PAR RAPPORT A LA LIGNE NORMALE.

UNE ANALYSE DE CO L'INDIQUERA SANS -EQUIVOQUE.

TABLEAU P



Pertes de gaz de carneau -- fuel oil lourd. Basé sur la valeur calorifique et une température ambiante de 20°C.

est une mesure typique ne nécessitant que de petits investissements de capitaux. Au cours des audits effectués dans plusieurs usines, nous avons procédé à des mesures de la température de surface de conduits non-isolés d'huile chaude. Des évaluations des pertes de chaleur ont été faites ainsi que du coût de l'isolement. Le Tableau Q est un exemple des résultats de cet exercice; la période moyenne de remboursement est d'envion 0.2 ans. D'autres possibilités de petits investissements ont été identifiées dans le projet Tunisien. Celles-ci ont inclu l'installation d'analyseurs fixes de gaz brûlés qui pourrait conduire à une exploitation améliorée des fours et chaudières (voir aussi Section 6.1B).

6.3 Investissements Importants

La recommandation faite pour l'installation de récupérateurs des gaz brûlés à l'aciérie est un exemple typique de mesure de conservation de l'énergie nécessitant des investissements de capitaux importants. Deux fours sont utilisés pour le rechauffage des billettes d'acier et aucune tentative n'est faite pour récupérer l'énergie s'échappant par les cheminées des fours. Une étude a démontré que la récupération de la chaleur pour préchauffer l'air de combustion pourrait résulter en des économies annuelles de plus de 500 tonnes de fuel lourd pour chaque four (ce qui équivaut à des économies financières annuelles d'environ 110,000 dollars). Une évaluation du coût d'un récupérateur a été faite:

	Dollars
(a) Nouveau brûleur calibré pour un air préchauffé à 300oC	19,600
(b) Récupérateur à tubes multiples, étant adapté d'une purge d'air de combustion servant de protection contre une température excessive - températue de gaz de carneau 750 à 930°C, air de combustion 300°C	75,000
(c) Frêt, installation et démarrage du système de combustion, y compris les dessins, la tuyauterie et les modifications de canalisations	47,000
(d) Frêt, installation, modifications du garnissage réfractaire, etc. nécessaires pour le récupérateur	44,000
COUT TOTAL ESTIME PAR FOUR	185,600

La période simple de remboursement pour le système de récupération sur chaque four est donc de moins de 2 ans (basé sur les prix mondiaux du marché du fuel oil).

Un autre exemple d'investissements importants de capitaux a été identifié à une papeterie. Là, la vapeur est montée dans deux chaudières, l'une fonctionnant à 20 atmosphères pour fournir la vapeur nécessaire à usages généraux, l'autre à 43 atmosphères pour fournir la vapeur nécessaire à la génération de l'électricité. En raison des limitations du système d'aspiration de vapeur du turbo-alternateur, le montant total de vapeur disponible à 43 atmosphères ne peut pas être utilisé, et jusqu'à 40% de la vapeur est passée à travers un poste de réduction de pression pour produire de la vapeur à 20 atmosphères pour l'usage général du procédé. Une évaluation a été faite des économies pouvant être obtenues si l'on installait un turbo-alternateur à la place du poste de réduction: 3.6 million de kwh environ pourraient être produits chaque année d'une valeur de 180,000 dollars. Le côut d'un turbo-alternateur approprié est de 120,000 dollars, ce qui donne

TABLEAU Q: RESULTATS D'ESSAIS - FLUIDES THERMIQUES ET FUEL - OIL CHAUD FOURNIS PAR UN SERVICE EXTERIEUR DANS DES CONDUITS NON-ISOLES

ZONE DE L'USINE	LONGUEUR APPROX. DU TUYAU m	DIAMETRE DU TUYAU mm	TEMPERATURE RELEVEE A LA SURFACE ^{o}C	PERTE DE CHALEUR PAR CONDUITE NUE kc/mh	PERTES DE CHALEUR APRES ISOLATION kc/mh	ECONOMIES D'ENERGIE kc/mh	ECONOMIES D'ENERGIE ANNUELLES $kc/10^6$	ENERGIE EQUIVALENTE QUI SERAIT FOURNIE A LA CHAUDIERE PAR AN $kc/10^6$	ECONOMIES D'ENERGIE ANNUELLES REALISEES Dinars	DEPENSES POUR L'ISOLATION Dinars
STOCKAGE DE FUEL OIL DANS RESERVOIR DE RESERVE	24	38	150	340	34.7	305.3	58.6	83.14	945	140
CONDUIT NON-ISOLE DE FLUIDE THERMIQUE FOURNI	30	20	160	231	34.5	196.5	47.16	66.89	750	111
STOCKAGE DE FUEL OIL DANS RESERVOIR A GRANDE ECHELLE	4	75	65	124	13.2	110.8	3.54	5.03	57	36
CONDUIT NON-ISOLE DE FLUIDE THERMIQUE ET DE F.O. FOURNIS	8	38	160	372	37.2	334.8	21.42	30.4	345	47
CONDUIT DE FUEL OIL PRECHAUFFE EN AVAL D'UN FOUR ROTATIF	24	15	85	77	14	63	12.1	17.15	195	91.2
UNITE DE CHAUFFAGE ET DE POMPAGE	24	10	85	55	12.5	42.5	8.16	11.5	131.6	75
								TOTAL	2433.6	500.2

LA PERIODE DE REMBOURSEMENT EST APPROXIMATIVEMENT DE 0.2 ANS

une période de remboursement de moins d'un an.

7. LE RENDEMENT DE LA CONSERVATION

Les arguments en faveur d'investissements dans la gestion de l'énergie et les mesures de conservation de l'énergie doivent être fondés sur des principes économiques solides. Toutes les possibilités de conservation devraient être évaluées à l'aide de techniques éprouvées comme le taux de rendement (RDE) revenu disponible escompté, quoique des évaluations rapides de rentabilité puissent être faites (avec soin) en utilisant la méthode de rendement simple. Le tableau R présente quelques rendements remarqués lors d'une étude effectuée sur 2000 usines. Ce tableau donne un aperçu de l'attrait financier de mesures caractéristiques de conservation d'énergie. On discutera ultérieurement de l'utilisation des techniques de RDE en connexion avec les programmes de mini-ordinateurs.

8. L'EMPLOI DE MICRO-ORDINATEURS POUR LE TRAVAIL SUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS L'INDUSTRIE

8.1 Introduction

L'emploi d'ordinateurs dans l'industrie a, bien sûr, été bien développé au cours de nombreuses années. Une grande proportion des tâches entreprises traditionnellement par les ordinateurs à unité centrale de traitement, peuvent maintenant être exécutées par les micro-ordinateurs dont les possibilités ont grandement augmenté ces dernières années. De plus, l'interaciton étroite de l'utilisateur avec le micro-ordinateur permet l'exécution rapide de nombreux calculs peu difficiles. En effet, le temps d'exécution du micro-ordinateur (à partir de la soumission des entrées jusqu'à la réception des sorties) est souvent raccourci de façon appréciable par rapport à celui des systèmes à unité centrale de traitement.

Le [illegible] relativement bas et la commodité du "micro-ordinateur personnel" représe[illegible] avancement très important. Le micro-ordinateur peut être un outil très rentable du point de vue du coût pour ce qui concerne le responsable de l'énergie et le planificateur de l'énergie, lesquels peuvent exploiter pleinement l'interaction ordinateur-utilisateur dans leurs tâches journalières.

Il existe bien sûr un grand nombre d'applications possibles pour le micro-ordinateur dans l'industrie. Celles-ci peuvent être divisées en plusieurs catégories générales:

(1) Gestion des données
(2) Calculs
(3) Analyses financières
(4) Applications spéciales

Quelques exemples de chaque genre d'application serviront à illustrer le potentiel d'utilisation productive des micro-ordinateurs pour la gestion de l'énergie et la planification de l'énergie:

8.2 Gestion des Données

Dans cette catégorie se trouvent les programmes pour calculs mathématiques standard, y compris les analyses de régression et les essais ayant trait aux

TABLEAU R: RENTABILITE DES INVESTISSEMENTS EN TECHOLOGIES D'ECONOMIES D'ENERGIE

Description générique des mesures à prendre:	Période de remboursement (nombre d'années)
Améliorer l'isolation des bâtiments	4
Améliorer régulation de température (thermostat,commutateur chronométr.)	0.5
Isolation des conduits de vapeur, d'air chaud et d'eau chaude, etc.	0.8
Maintenance des chaudières, améliorer régulation des combustibles	1
Remplacement de l'éclairage existant par meilleur système	2
Nettoyer les lampes, repeindre murs en couleur plus claire	4
Améliorer système d'air comprimé, réparer les fuites, etc.	1
Améliorer isolation des usines de procédés	0.8
Améliorer systèmes de régulation des usines de procédés	0.8
Récupération du condensat et utilisation de chaleur émise par détente	1
Remplacer chaudières	2
Récupérer déchets de chaleur provenant du chauffage pour procédés (y compris les récupérateurs)	1.5
Re-garnir les fours et bonne maintenance des systèmes de chauffage	1.5
Utiliser déchets de chaleur comme combustible	0.5
Technologies spécifiques	
Récupération de la chaleur du stage d'absorption dans les usines d'acide sulfurique	1.4
Utilisation de la chaleur émise par les processus dans usines chimiques	2
Roue de chaleur pour la récupération de chaleur dans usines textiles	3.2
Récupération de chaleur par plaque de rechauffage dans les fours	1.5
Remplacement de chaudière vieux modèle par système à couche fluide de charbon	4
Système rotatif pour préchauffage d'air dans four de fusion d'aluminium	2.4
Conversion des cimenteries du procédé humide à celui demi-humide	5
Brûleurs à récupération dans fours de forge	3
Brûleurs auto-récupérateurs dans fours de rechauffe continue	1.5
Récupération de chaleur par les pompes à chaleur dans laiteries	2
Systèmes de cogénération à couche fluide de charbon	1.7

D'après une étude effectuée sur 2200 usines dans le Royaume Uni et des projets de démonstration technologiques étudiés par le Département d'Energie du R.-U.

statistiques, les programmes linéaires, les routines d'ajustement de courbes simples et le logiciel graphique. Des programmes destinés à des applications spécifiques peuvent être écrits par les utilisateurs. En plus de ceux-ci, il y a sur le marché de nombreux blocs logiques tout-fait.

Un autre genre de programme de grande utilité pour toutes les zones de gestion de données est la "feuille de diffusion électronique" (dont la plus connue est probablement Visicalc). Ce programme est extrêmement adaptable. Il est prêt à être utilisé par les ingénieurs après quelques minutes seulement de pratique. Par exemple, les planificateurs d'énergie doivent souvent projeter les demandes d'énergie sur une période pour laquelle les taux annuels de croissance sont spécifiés. Les données suivantes sont tirées d'une étude récente sur le secteur industriel Tunisien:

	1980	PCT	PCT.CROISS.	1986	PCT
MATCON	417.1	39.82	14.5	959.88	46.72
CHIM	96.4	9.20	10.2	172.65	8.58
MECMET	166.1	15.86	14.3	370.38	18.41
MINES	178.9	17.08	4.9	238.38	11.85
TEXT	42.9	4.10	9.3	73.14	3.64
PAPIER	44.7	4.27	10.2	80.06	3.98
PRODALIM	89.3	8.53	5	119.67	5.95
DIVERS	12.1	1.16	6.3	17.46	0.87
TOTAL	1047.5	100.00		2011.62	100.00

Les taux annuels de croissance peuvent être sujets à des imprécisions considérables, et il se peut que le planificateur désire connaître ce qu'il adviendrait de la demande du secteur industriel si le sous-secteur des matériaux de construction s'accroissait de 10.5% l'an. Par l'établissement d'une matrice à l'aide du programme Visicalc, l'usager n'a qu'à modifer le taux de croissance du sous-secteur de 14.5% à 10.5%. L'ordinateur recalculera ensuite automatiquement en quelques secondes les demandes projetées ainsi que les autres chiffres secondaires.

D'autres données clé peuvent être modifiées par l'utilisateur, et l'on peut observer immédiatement la sensibilité des projections à ces modifications. Le Tableau S représente quelques sorties de micro-ordinateurs illustrant cette application particulière du Visicalc.

Le stockage et la recherche de grandes quantités de données représente un autre genre important du maniement des données. Le recueil et l'analyse des données énergétiques émanant des 60 usines Tunisiennes est un exemple de cette application à la gestion de l'énergie. Un questionnaire a été rempli par les ingénieurs membres de l'enquête pour chaque usine visitée. Les données rassemblées ont renfermé des chiffres portant sur chaque type d'énergie utilisée ainsi que les chiffres de production correspondants. Un formulaire simplifié a été développé à l'aide d'un micro-ordinateur pour le stockage des données les plus importantes: Le Tableau T représente le formulaire vierge; les données d'entrée sont indiquées au Tableau U.

Un grand nombre d'éléments sont calculés automatiquement par l'ordinateur. Versaform est le nom du bloc logique utilisé pour effectuer ce travail. Il est fabriqué par Applied Software Technology. Cette particularité est

très utile, spécialement en ce qui concerne la transformation des unités courantes de consommation en unités énergétiques standard, tonnes équivalent pétrole (TEP). Cela économise beaucoup de temps et le calcul se fait précisément et correctement pour chaque usine. Cela élimine virtuellement toute possibilité d'erreur lors du calcul de la consommation énergétique totale de l'usine. Plusieurs paramètres clés (concernant l'intensité et le rendement énergétique) sont aussi calculés; ils apparaissent sur le formulaire. Le Tableau V représente des formulaires remplis pour deux usines caractéristiques, et le Tableau W représente un sommaire de la liste de toutes les usines contenues dans le dossier pour la Tunisie.

L'emploi du logiciel Versaform permet de préparer un certain nombre de rapports utiles grâce aux différents moyens utilisés pour rechercher les fichiers de données. Par exemple, une recherche de toutes les usines de la section "Matériaux de construction" peut être faite (Tableau X) et un rapport donnant les données clés spécifiques à toutes les briqueteries au sein de ce secteur peut être produit. Ce rapport se trouve au Tableau Y. Avec un bloc logiciel aussi sophistiqué que Versaform, les alternatives de compulsation des fichiers et de recherche de données sont pratiquement illimitées et l'utilisateur peut commencer à créer des formulaires, à stocker des données et entreprendre des recherches après un minimum seulement de pratique.

Les facilités de compulsation et les fichiers de données ont d'autres applications comprenant les listes de fabricants d'équipement, le pouvoir calorifique de combustibles, les caractéristiques d'isolement et de réfractaire, les données de procédé et les consommations spécifiques d'énergie.

8.3 Calculs

De nombreux calculs sont effectués régulièrement dans les usines par les responsables de l'énergie et par les ingénieurs. Beaucoup de ces calculs ne sont pas particulièrement complexes, et peuvent être souvent effectués en quelques minutes avec des calculateurs électroniques. Toutefois, l'interaction étroite avec l'utilisateur offerte par les micro-ordinateurs personnels vaut souvent l'effort de programmer ces calculs.

Quelques calculs courants effectués au cours d'audits énergétiques d'usines suivent:

(i) Efficience de four basée sur les analyses et les températures de gaz brûlés et prenant compte des caractéristiques de combustibles.
(ii) Efficience de chaudière (comme ci-dessus) et comprenant aussi l'effet de purge et de retour de condensat.
(iii) Pertes de chaleur de structures telles aue les chaudières, les réservoirs de procédé, les fours à ciment et les fours à briques.
(iv) Pertes de chaleur par les tuyaux.
(v) Calculs de combustion des combustibles pour calculer les besoins en air stoichiométrique de combustibles différents, les volumes de gaz brûlé et les compositions calculées à partir des analyses de combustibles.
(vi) Calculs de pompe, compresseur et turbine, tel que la production de travail et son efficacité.
(vii) Calculs de tube de Pitot pour estimer les taux de débit de gaz à partir des lectures d'instruments.
(viii) Calculs d'échangeur de chaleur et calibrage des systèmes de

TABLEAU S: EXEMPLES -- DEMANDES PROJETEES PAR LE PROGRAMME VISICALC

Réduction du taux de croissance de de 14.5 à 10.5%

	1980	PCT		1986	PCT
MATCON	417.1	39.819	10.5	759.30	41.468
CHIM	96.4	9.2029	10.2	172.65	9.4291
MECMET	166.1	15.857	14.3	370.38	20.228
MINES	178.9	17.079	4.9	238.38	13.019
TEXT	42.9	4.0955	9.3	73.144	3.9947
PAPER	44.7	4.2673	10.2	80.057	4.3722
ALIMENT.	89.3	8.5251	5	119.67	6.5357
DIVERS	12.1	1.1551	6.3	17.458	.95343
TOTAL	1047.5	100.		1831.0	100

Chiffre de base suivant la modification de la consommation de 417.1 à 505.3 x 10^3 TEP

	1980	PCT	PCT GR	1986	PCT
MATCON	505.3	44.492	10.5	919.86	46.187
CHIM	96.4	8.4882	10.2	172.65	8.6689
MECMET	166.1	14.625	14.3	370.38	18.597
MINES	178.9	15.752	4.9	238.38	11.969
TEXT	42.9	3.7774	9.3	73.144	3.6726
PAPER	44.7	3.9359	10.2	80.057	4.0197
ALIMENT.	89.3	7.8630	5	119.67	6.0088
DIVERS	12.1	1.0654	6.3	17.458	.87656
TOTAL	1135.7	100.		1991.6	100

TABLEAU T: FORMULAIRE VIERGE POUR DONNEES D'INDUSTRIE

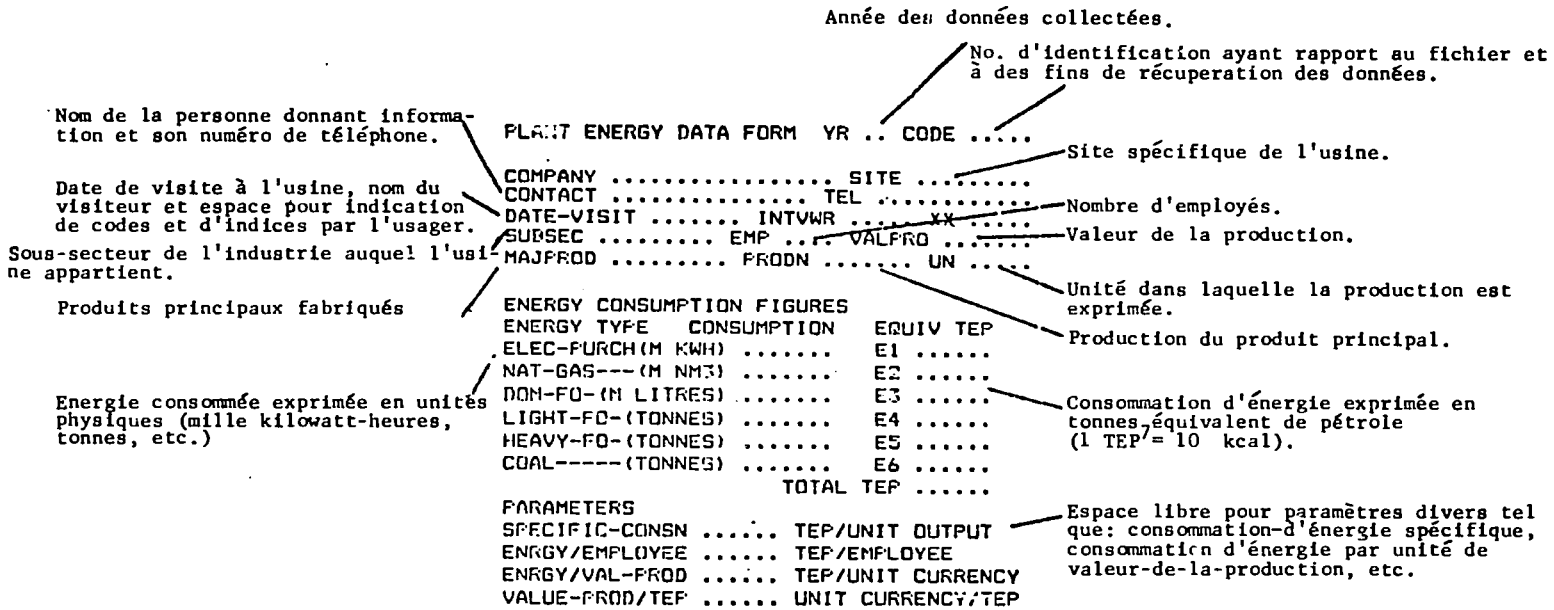


TABLEAU U: EXEMPLE TYPIQUE DE DONNEES D'ENTREES ET DE VALEURS CALCULEES

Données d'entrée au-dessus de la ligne de séparation.

```
PLANT ENERGY DATA FORM  YR 80 CODE 00007

COMPANY BRIQ.ZARROUK..... SITE KALAA-SGH
CONTACT AMRI,DIR.USINE. TEL (3)31.015...
DATE-VISIT 2/3/82. INTVWR TEAM. XX ...S1
SUBSEC MAT.CONS. EMP 500. VALPRO 3279...
MAJPROD BRICKS... PRODN 178225. UN T....

ENERGY CONSUMPTION FIGURES
ENERGY TYPE    CONSUMPTION   | EQUIV TEP
ELEC-PURCH(M KWH) 11519..    | E1 3686.1
NAT-GAS---(M NM3) 0.....     | E2 .....0
DOM-FO-(M LITRES) 1057.2.    | E3 902.95
LIGHT-FO-(TONNES) 0.....     | E4 .....0
HEAVY-FO-(TONNES) 12735..    | E5  12353
COAL-----(TONNES) 0.....     | E6 .....0
                       TOTAL | TEP  16942

PARAMETERS
SPECIFIC-CONSN 0.0951 TEP/UNIT OUTPUT
ENRGY/EMPLOYEE 33.884 TEP/EMPLOYEE
ENRGY/VAL-PROD 5.1668 TEP/UNIT CURRENCY
VALUE-PROD/TEP 0.1935 UNIT CURRENCY/TEP
```

Tous ces articles sont calculés automatiquement.

TABLEAU V: Formulaires typiques

```
PLANT ENERGY DATA FORM  YR 81 CODE 00003

COMPANY SA.DOM.POTINVILLE SITE HAMMAMLIF
CONTACT DE.LABAREYRE... TEL (1)247.431..
DATE-VISIT 24/2/82 INTVWR TEAM. XX ...S1
SUBSEC MAT.CONS. EMP 150. VALPRO 1018...
MAJPROD LIME..... PRODN 64500.. UN T....

ENERGY CONSUMPTION FIGURES
ENERGY TYPE    CONSUMPTION    EQUIV TEP
ELEC-PURCH(M KWH) 1064...     E1 340.48
NAT-GAS---(M NM3) 0.....      E2 .....0
DOM-FO-(M LITRES) 30.....     E3 25.623
LIGHT-FO-(TONNES) 0.....      E4 .....0
HEAVY-FO-(TONNES) 0.....      E5 .....0
COAL-----(TONNES) 4280...     E6 3081.6
                        TOTAL TEP 3447.7
PARAMETERS
SPECIFIC-CONSN 0.0535 TEP/UNIT OUTPUT
ENRGY/EMPLOYEE 22.985 TEP/EMPLOYEE
ENRGY/VAL-PROD 3.3867 TEP/UNIT CURRENCY
VALUE-PROD/TEP 0.2953 UNIT CURRENCY/TEP
```

```
PLANT ENERGY DATA FORM  YR 80 CODE 00300

COMPANY BRIQ.EL.HAMMA.... SITE EL.HAMMA.
CONTACT MONCEF.JENNI... TEL ............
DATE-VISIT 9/81... INTVWR BT... XX ...S1
SUBSEC MAT.CONS. EMP 250. VALPRO .......
MAJPROD BRICKS... PRODN 89302.. UN T....

ENERGY CONSUMPTION FIGURES
ENERGY TYPE    CONSUMPTION    EQUIV TEP
ELEC-PURCH(M KWH) 3750...     E1 ..1200
NAT-GAS---(M NM3) 5400...     E2 ..5346
DOM-FO-(M LITRES) 624.6..     E3 533.47
LIGHT-FO-(TONNES) 0.....      E4 .....0
HEAVY-FO-(TONNES) 0.....      E5 .....0
COAL-----(TONNES) 0.....      E6 .....0
                        TOTAL TEP 7079.5
PARAMETERS
SPECIFIC-CONSN 0.0793 TEP/UNIT OUTPUT
ENRGY/EMPLOYEE 28.318 TEP/EMPLOYEE
ENRGY/VAL-PROD ..... TEP/UNIT CURRENCY
VALUE-PROD/TEP .....0 UNIT CURRENCY/TEP
```

TABLEAU W

1/13/82 Page 1

CODE	COMPANY	SUBSEC	MAJPROD	PRODN	TOTAL	SPECIF
00001	STEC	CHEMICALS	FERTILIZR	66000	511.87	0.0078
00002	FONDERIES REUNIES	MECMET	CASTINGS	2300	647.10	0.2813
00003	SA DOM POTINVILLE	MAT CONS	LIME	64500	3447.7	0.0535
00004	LE CONFORT	MECMET	APPLIANCE	70338	1555.7	0.0221
00005	SMMT	MECMET	LEAD	19200	8302.1	0.4324
00006	EL ANABIB	MAT CONS	CONCRETE	131462	2743.7	0.0209
00007	BRIQ ZAFROUN	MAT CONS	BRICKS	178223	16942	0.0951
00008	COMPT NAT PLASTIQ	MISC	ARTICLES	8200	1595.1	0.1945
00009	BRIQ M'HENNI	MAT CONS	BRICKS	155540	8578.4	0.0552
00010	TUNISIE LAIT	FOOD PROC	MILK	30987	3548.1	0.1145
00011	SITER	TEXTILES	TEXTILES	13600	5968.5	0.4389
00012	SITEX	TEXTILES	TEXTILES	15200	2625.8	0.1728
00013	STIA	MECMET	VEHICLES	8777	1082.6	0.1233
00014	UNION GENERALE	MAT CONS	BRICKS		10272	
00015	SOTUVER	MAT CONS	GLASS	17656	7033.2	0.3983
00016	SONAP	MISC	TYRES	160000	2493.1	0.0156
00017	STIL	FOOD PROC	MILK	56000	2597.1	0.0464
00019	SOC GEN INDUSTRL	MECMET	CYLINDERS	120000.	280.02	0.0023
00020	SOTUBI	FOOD PROC	BISCUITS	2210	228.16	0.1032
00021	SOTUCHOC	FOOD PROC	CHOCOLATE	539	310.11	0.5753
00022	PLATRES TUN MEKN	MAT CONS	TILES	8209	468.70	0.0571
00023	CERAM DE L'OUEST	MAT CONS	BRICKS	55360	4079.1	0.0737
024	CERAM TUNIS JENNE	MAT CONS	BRICKS	55000	3739.6	0.0680
00025	CERAM TUNISIENNE	MAT CONS	TILES	835000	5854.4	0.0070
00026	CIM ARTIF TUNISNE	MAT CONS	LIME	56000	3356.4	0.0599
00027	ALI MAJOUL + CIE	FOOD PROC	TOMATO CN	3704	798.78	0.2157
00028	SICOAC	MAT CONS	PIPES	16100	7964.1	0.4947
00029	CIM AMIANTE TUNSN	MAT CONS	PIPES	28000	1674.8	0.0598
00030	PATISS OUARDA	FOOD PROC	BREAD	3200	125.32	0.0392
00031	S MAT EL CHAFIRA	MECMET	CABLES	2847	634.33	0.2228
00032	GRANUPHOS	CHEMICALS	FERTILIZR	59965	3030.5	0.0505
00033	SIAPE	CHEMICALC	TSP	418074	17428	0.0417
00034	MAN TUN CERAMIQUE	MAT CONS	PORCELAIN	3600	2048.6	0.5691
00035	REFRACTAIRES DE T	MAT CONS	REFRACT	4500	1183.5	0.263
00036	STOA	MECMET	GASES	1830	2642.3	1.4439
00037	SOC LA BRIQUE TUN	MAT CONS	BRICKS	39985	2229.5	0.0558
00038	ICM	CHEMICALS	TSP	49488	14515	0.2933
00039	SAEPA	CHEMICALS	DAP	514974	15281	0.0297
00040	ENGRAIS DE GABES	CHEMICALS	MAP	62611	1277.7	0.0204
00041	ICF	CHEMICALS	AL FLUOR	19730	5093.3	0.2582
00042	SOFOMECA	MECMET	CASTINGS	4787	2426.8	0.5070
00043	SOMOTEX	TEXTILES	THREAD	8595	2966.3	0.3451
00044	ATEL MEC SAHEL	MECMET	IRONMGY		1671.6	
00045	SFBT	FOOD PROC	BEER	295359	3299.1	0.0112
00046	REGIE ALCOOLS	FOOD PROC	ALCOHOL	1800	906.57	0.5037
00047	COOP AG IZIDIHAR	FOOD PROC	PRESERVES		1146.0	
00048	SFAX CERAMIQUE	MAT CONS	BRICKS	30000	2330.8	0.0777
0049	STPA	FOOD PROC	FLOUR	48878	1562.2	0.0320
0050	COUSCOUS DU SUD	FOOD PROC	COUSCOUS	9291	1491.0	0.1605
00051	CIM D'OM KHELIL	MAT CONS	CLINKER	192406	24843	0.1291
01000	CIM ARTIF TUNISNE	MAT CONS	CLINKER	436618	87583	0.2006
02000	BRIQ FOUCHANA	MAT CONS	BRICKS	97147	8689.1	0.0894
03000	BRIQ EL HAMMA	MAT CONS	BRICKS	89302	7079.8	0.0792
04000	CIM BIZERTE	MAT CONS	CLINKER	721350	90946	0.1261
05000	CIM GABES	MAT CONS	CLINKER	482500	62408	0.1293
06000	S T SUCRE	FOOD PROC	SUGAR	60615	17061	0.2815
07000	SNCPA	PAPER	PAPER	23808	43106	1.8106
08000	SIAPE	CHEMICALS	TSP	317416	24190	0.0762
09000	C P GAFSA	MINING	PHOS ROCK	4.329	134103	30978
10000	EL FOULEDH	MECMET	STEEL	177937	134549	0.7562
					826546	

60 forms read. 60 details scanned.
60 items selected, 60 processed.

(60 formulaires lus, 60 détails explorés,
23 compagnies sélectionnées, 60 traitées)

TABLEAU X

1/13/82 Page 1

CODE	COMPANY	SUBSEC	MAJPROD	PRODN	TOTAL	SPECIF
00003	SA DOM POTINVILLE	MAT CONS	LIME	64500	3447.7	0.0535
00006	EL ANABIB	MAT CONS	CONCRETE	131462	2743.7	0.0209
00007	BRIQ ZARROUK	MAT CONS	BRICKS	178223	16942	0.0951
00009	BRIQ M'HENNI	MAT CONS	BRICKS	155540	8578.4	0.0552
00014	UNION GENERALE	MAT CONS	BRICKS		10272	
00015	SOTUVER	MAT CONS	GLASS	17656	7033.2	0.3983
00022	PLATRES TUN MEI'N	MAT CONS	TILES	8209	468.70	0.0571
00023	CERAM DE L'OUEST	MAT CONS	BRICKS	55360	4079.1	0.0737
00024	CERAM TUNIS IENNE	MAT CONS	BRICKS	55000	3739.6	0.0680
00025	CERAM TUNISIENNE	MAT CONS	TILES	835000	5854.4	0.0070
00026	CIM ARTIF TUNISNE	MAT CONS	LIME	56000	3356.4	0.0599
00028	SICOAC	MAT CONS	PIPES	16100	7964.1	0.4947
00029	CIM AMIANTE TUNSN	MAT CONS	PIPES	28000	1674.8	0.0598
00034	MAN TUN CERAMIQUE	MAT CONS	PORCELAIN	3600	2048.6	0.5691
00035	REFRACTAIRES DE T	MAT CONS	REFRACT	4500	1183.5	0.263
00037	SOC LA BRIQUE TUN	MAT CONS	BRICKS	39985	2229.5	0.0558
00048	SFAX CERAMIQUE	MAT CONS	BRICKS	30000	2330.8	0.0777
00051	CIM D'OM KHELIL	MAT CONS	CLINKER	192406	24843	0.1291
01000	CIM ARTIF TUNISNE	MAT CONS	CLINKER	436618	87583	0.2006
02000	BRIQ FOUCHANA	MAT CONS	BRICKS	97147	8689.1	0.0894
03000	BRIQ EL HAMMA	MAT CONS	BRICKS	89302	7079.8	0.0793
04000	CIM BIZERTE	MAT CONS	CLINKER	721350	90946	0.1261
05000	CIM GABES	MAT CONS	CLINKER	482500	62408	0.1293
					365495	

60 forms read, 60 details scanned, (60 formulaires lus, 60 détails explorés,
23 items selected, 23 processed. 23 compagnies sélectionnées, 23 traitees)

TABLEAU Y

1/13/82 Page 1

CODE	COMPANY	MAJPROD	PRODN	TOTAL	SPECIF
00007	BRIQ ZARROUK	BRICKS	178223	16942	0.0951
00009	BRIQ M'HENNI	BRICKS	155540	8578.4	0.0552
00014	UNION GENERALE	BRICKS		10272	
00023	CERAM DE L'OUEST	BRICKS	55360	4079.1	0.0737
00024	CERAM TUNIS IENNE	BRICKS	55000	3739.6	0.0680
00037	SOC LA BRIQUE TUN	BRICKS	39985	2229.5	0.0558
00048	SFAX CERAMIQUE	BRICKS	30000	2330.8	0.0777
02000	BRIQ FOUCHANA	BRICKS	97147	8689.1	0.0894
03000	BRIQ EL HAMMA	BRICKS	89302	7079.8	0.0793
			700557	63940	

60 forms read, 60 details scanned, (60 formulaires lus, 60 détails explorés,
9 items selected, 9 processed. 9 compagnies selectionnées, 9 traitées)

récupération de chaleur.
(ix) Estimation des pertes de vapeur et d'air comprimé par les fuites.
(x) Charges de chauffage, de ventilation et de refroîdissement pour les bureaux et les immeubles commerciaux.

A l'exception possible des programmes HVAC basés sur des procédures de calcul standard telles que les méthodes ASHRAE, peu de blocs logiciels servant à effectuer ces différents types de calculs sont actuellement en vente. L'Annexe A donne quelques exemples de programmes écrits spécifiquement pour le travail d'audit effectué à l'aide du système Visicalc.

8.4 Analyses Financières

Une grande partie du travail portant sur la gestion de l'énergie sert à identifier les possibilités de conservation qui nécessitent souvent des investissements de capitaux. L'évaluation de ces investissements est nécessaire et celle-ci se fait à l'aide de techniques simples de remboursement ou de préférence, à l'aide de méthodes de revenu disponible excompté. Un calcul caractéristique du taux de rendement RDE sera examiné en détail à la Quatorzième Séance. Des détails supplémentaires sur les calculs de taux de rendement sont donnés à l'Annexe B.

D'autres genres d'analyses financières qui pourraient s'appliquer aux micro-ordinateurs et qui sont liées à la conservation de l'énergie comprennent celles qui donnent des estimations de l'impact des investissements sur les revenus disponibles et sur le bilan d'exploitation d'une société. Des blocs logiciels standard de comptabilité peuvent être utilisés à cet effet.

8.5 Applications Spéciales

Il existe une variété d'applications spéciales pour les programmes de micro-ordinateurs qui peuvent être utilisés dans certaines industries, dont:

(i) Des modèles de programmation linéaire pour optimiser le fonctionnement de raffineries et d'unités pétrochimiques.
(ii) Calculs de mélange de combustibles (par exemple, le mélange d'essence par indice d'octane, le mélange de fuel oil suivant les spécifications de viscosité et de soufre.
(iii) Des modèles de transport pour optimiser les opérations des dépôts de distribution et des parcs de camions-citerne.
(iv) Des modèles de simulation Monte Carlo (par exemple pour évaluer la capacité de réservoirs de stockage ou le niveau de l'inventaire).
(v) Des modèles de distribution du réseau électrique pour les opérations de jour en jour et des modèles de planification de capacité pour optimiser la construction de nouvelles usines.
(vi) Des analyses des tarifs d'électricité et de gaz.

De nombreuses applications de ce genre sont en vente sur le marché; il y a aussi beaucoup de programmes brevetés et de programmes spécifiques à des sociétés portant sur des tâches particulières. Pour effectuer leurs calculs courants, les sociétés se tournent de plus en plus vers les systèmes de micro-ordinateurs orientés vers l'usager plutôt que vers les ordinateurs à unité centrale de traitement.

Pour finir, nous devons faire mention des applications spéciales de micro-

ordinateurs en tant que terminals à distance reliés à des systèmes de contrôle de la gestion de l'énergie, ou à des banques de données à unité centrale de traitement. Par exemple, les micro-ordinateurs ont été utilisés pour le suivi et le contrôle des systèmes d'éclairage et de chauffage d'immeuble de concert avec les lignes téléphoniques et les modems.

8.6 Besoins en Logiciel et Disponibilité

Comme indiqué ci-dessus, il existe sur le marché de nombreux blocs logiciels pour usage sur micro-ordinateurs. Toutefois, il en existe peu qui portent sur l'exécution de calculs liés à l'énergie. Il appartient donc aux utilisateurs soit d'utiliser le logiciel disponible tel que Visicalc ou Versaform pour les calculs énergétiques ou les manipulations de données, soit d'écrire leurs propres programmes si le logiciel existant n'est pas adéquat.

En fait, une grande partie des calculs exécutés couramment par les ingénieurs énergétiques sont relativement faciles à programmer sur les micro-ordinateurs. La disquette standard utilisée par la plupart des micro-ordinateurs peut être utilisée pour stocker plusieurs programmes ou séries de données. Cela permet le développement d'une bibliothèque d'un ou deux disques de programmes utiles qui peuvent être facilement stockés et transportés de l'emplacement d'un ordinateur à un autre.

En ce qui concerne la disponibilité en logiciel commercial, les principaux fabricants de micro-ordinateurs fournissent des listes de logiciel qu'ils ont eux-mêmes développé pour leurs machines. Il existe aussi sur le marché mondial un grand nombre de sociétés spécialisées en logiciel qui écrivent des programmes pour les systèmes de micro-ordinateurs les plus importants. Evidemment, le prix du logiciel variera énormément suivant ses possibilités. Les logiciels les plus courants utilisés coûtent de 150 à 500 dollars. Par exemple, financièrement Visicalc se trouve normalement au bas de l'échelle alors que Versaform se trouve plus près du haut.

8.7 Aspects de l'Exécution

De nombreux facteurs doivent être pris en compte lorsque l'on considère l'exécution des sytèmes de micro-ordinateurs pour la gestion de l'énergie. La disponibilité en logiciel a déjà été discutée. Il y a aussi la question du matériel lui-même. Certains fabricants possèdent des réseaux bien développés de revente; ils peuvent fournir un bon service d'après-vente et de soutien (réparation d'équipement défectueux,. soutien et formation en ce qui concerne la programmation).

Le matériel minimum nécessaire au travail de gestion de l'énergie peut être ainsi résumé:

(1) Micro-ordinateur (disons 48-64K RAM)
(2) Appareil de surveillance (un poste de télévision est normalement acceptable)
(3) Imprimante (le genre matrice par points étant adéquate pour le travail de génie).
(4) Unité de disque et carte paramètre (au moins une unité de disque, deux de préférence).

Le coût de ce matériel peut varier beaucoup de pays à pays et de fabricant à

fabricant. Le coût appoximatif d'une installation complète (avec deux unités de disque) serait de 3,500 dollars.

Suivant les systèmes de logiciel utilisés, diverses "cartes" additionnelles (circuits imprimés) peuvent être nécessaires. Par exemple, le Versaform est écrit dans le langage Pascal. Une carte spéciale incorporant une capacité RAM additionnelle de 16K sera habituellement nécessaire pour un micro-ordinateur normal; permettant ainsi de passer le langage Pascal en machine en plus du langage Basic qui est standard. Une carte Pascal pour le système Apple II coûterait probablement dans les environs de 200 dollars.

Ayant acheté le matériel et le logiciel de base, l'utilisateur potentiel aura besoin d'apprendre la meilleure façon de faire fonctionner le micro-ordinateur. Afin de tirer le maximum d'emploi du micro-ordinateur, une certaine formation des ingénieurs est nécessaire. En supposant que l'ingénieur ait une expérience technique solide, il peut être approprié de donner la formation suivante:

(1) la formation "gestion de l'énergie" pour enseigner les principes de travail de conservation de l'énergie, pour examiner la base technique d'opérations courantes (par exemple, la combustion)

(2) l'introduction aux micro-ordinateurs pour encourager la familiarisation avec les possibilités d'un système particulier et les éléments principaux de son fonctionnement

(3) la formation et la pratique de l'emploi du logiciel disponible

(4) une formation portant sur la rédaction de nouveaux programmes (en BASIC et peut-être aussi en FORTRAN) servant à remplir les lacunes qui existeront sans doute en raison de la disponibilité limitée de logiciel approprié.

A la suite de sa formation initiale, l'ingénieur devra être encouragé à s'exercer sur le micro-ordinateur. Rien ne remplace l'expérience pratique.

Alors que la plupart des usines moyennes à grandes, et quelques petites, pourront bénéficier de l'emploi de micro-ordinateurs pour le travail technique, les aplications portant sur la gestion de bases de données sont moins manifestement profitables. En ce qui concerne les agences gouvernementales, la gestion des bases de données se trouvera être la plus utile pour ce qui est du traveail de planification énergétique, cela pour le suivi et le contrôle de l'impact de politiques énergétiques en vigueur et pour le développement de nouvelles politiques.

Evidemment un système basé sur un micro-ordinateur ne se justifie pas, à moins de prendre en compte la fourniture de données fiables et de considérer sérieusement l'emploi de ces données. Toutefois, si l'on dispose des données recherchées, on constatera la grande valeur (en ce qui concerne le planificateur énergétique et le preneur de décision) de l'interaction plus étroite que l'utilisateur peut obtenir avec un micro-ordinateur. De ce fait, pour ce qui concerne les nombreux genres de travaux comportant une évaluation d'options et de prise de décision, le micro-ordinateur est de beaucoup supérieur à l'ordinateur conventionnel à unité centrale de traitement utilisé normalement par un bureau national de statistique.

NEUVIEME SEANCE: VISITE

Visite à l'usine de Traitement du Phosphate d'OTP

Un sommaire des activités de fabrication effectuées à l'usine de traitement des phosphates a déjà été donné (Troisième Séance). L'objectif de la visite est de faire une démonstration des procédurs et des techniques d'audits examinées en détail à la Septième Séance, et de donner aux participants au séminaire une expérience de première main du travail d'audit dans une usine.

La visite prendra une journée entière. Le matin, les participants recevront une introduction générale à l'usine et visiteront le chantier pour voir les pièces principales d'équipement de traitement. Après le déjeuner, les participants seront divisés en trois groupes ayant les responsabilités suivantes:

A: Collecte de données récentes sur la marche de l'usine (à partir des registres de l'usine), et recueil de données spécifiées à partir des instruments de l'usine (voir Tableau AA).

B: Effectuer une vérification des températures de surface autour d'un des systèmes de séchage rotatif, et ensuite calculer la perte de chaleur du sécheur.

C: Effectuer une vérification de l'efficacicté de la combustion à la chaudière de l'usine.

Le Groupe A passera une grande partie de l'après-midi à leurs tâches, alors que les Groupes B et C échangeront leurs tâches après un délai d'une heure.

TABLEAU AA — Tableau AA

Exemples de données à être collectées

Au Bureau
Dans les 6 derniers mois:

Transformation des matières premières (total; par sécheur)	tonnes
Qualité de la matière introduite	BPL
Production de phosphate (total; par sécheur)	tonnes
Qualité de la matière recueillie	BPL
Teneur en eau du produit alimentant chaque sécheur	% du poids
Teneur en eau du produit issu du sécheur	% du poids
Teneur en eau du produit expédié	% du poids
Consommation de combustible selon type (par sécheur, total pour l'usine)	tonnes, litres
Electricité consommée (total)	kWh

A l'usine
Pour chaque sécheur en opération:

Quantité passée	tonnes/heure
Teneur en eau à l'entrée	% du poids

Teneur en eau à la sortie	% du poids
Consommation de combustible	litres/heure
Indications de température (chambre à combustion, sécheur à la sortie, etc.)	°C
Température du réservoir de stockage de fuel oil	°C
Température du fuel oil allant vers les brûleurs	°C

TREIZIEME SEANCE: ANALYSE ECONOMIQUE DE MESURES POUR L'EFFICACITE DE L'EMPLOI DE L'ENERGIE

L'emploi d'un Micro-ordinateur pour les calculs de RDE

Un bref examen détaillé de calculs de RDE et l'emploi d'un micro-ordinateur pour les effectuer apparaît à l'Annexe B.

Exemples de calculs

Cette Annexe donne des exemples d'utilisations de programmes de micro-ordinateur pour effectuer quelques calculs courants s'appliquant à la gestion de l'énergie. Ces calculs portent sur:

(1) Rendement de chaudière/four
(2) Pertes de chaleur de structures chaudes à l'atmosphère
(3) Pertes de chaleur par la tuyauterie
(4) Mesures du débit de gaz à l'aide du tube de Pitot

Un examen complet est effectué pour chaque programme. Cet examen porte sur la base utilisée pour la méthode de calcul; des exemples d'entrées et de sorties caractéristiques sont indiqués. Les programmes s'appliquent au système Apple II, qui est caractéristique des nombreux micro-ordinateurs à coût modéré dont disposent les ingénieurs d'usines.

A.1 CALCULS DE RENDEMENT DE CHAUDIERE/FOUR ("EFF COMBUSTION")

1. Introduction

Cette méthode de calcul implique l'évaluation des diverses sources de perte de la chaudière ou du four et ensuite le calcul du rendement thermique par différence.

$$\% \text{ rendement thermique} = 100 - \sum (\text{sources de perte})\%$$

Neuf sources différentes de perte d'énergie ont été identifiées:

(1) Combustible non brûlé dans la cendre volante.
(2) Combustible non brûlé dans les scories ou la cendre retirées du fond de la zone de combustion (nommé "cendre de scorie" dans le programme).

(3) Chaleur sensible dans la cendre volante.
(4) Chaleur sensible dans la cendre de scorie.
(5) Chaleur sensible dans le gaz de carneau sec.
(6) Chaleur latente d'humidité dans le gaz de carneau.
(7) Oxyde de carbone de combustible non brûlé dans le gaz de carneau.
(8) Perte de chaleur de radiation et de convection à travers la structure de la chaudière ou du four.
(9) Chaleur sensible dans l'eau de purge.

Articles (1) à (4) s'appliquent seulement aux combustibles solides comme le charbon et le coke; l'article (9) ne s'applique qu'aux chaudières.

A l'exception de la perte de chaleur de radiation et de convection, le programme fait le calcul de toutes les sources individuelles de perte. L'article (8) est introduit par l'usager: un programme s'élevant à faire le calcul de telles pertes est donné plus loin dans cette Annexe, mais une valeur caractéristique de 3% peut être introduite si la valeur atuelle n'est pas connue.

2. Organisation du Programme

Le programme utilise le système de Visicalc "feuille de diffusion électronique": il est donc nécessaire de charger Visicalc dans le micro-ordinateur avant de pouvoir utiliser la diskette d'"EFF COMBUSTION". La feuille de diffusion est divisée en plusieurs "champs" dans lesquels les divers éléments du programme ont été placés. Ces éléments sont donnés au Tableau A.1.1, et sont:

(1) Données d'entrée numériques (A1 - E36)
(2) Information d'identification (A37-E48)
(3) Résultats des calculs (A50-E82)
(4) Données d'entrée standard (J1-R8)
(5) Pouvoirs calorifiques caractéristiques de combustibles (J20-M47)

Les données d'entrée nécessaires sont cataloguées au Tableau A.1.2. Certaines dépendent des caractéristiques du combustible utilisé: les valeurs typiques sont données sur la feuille de travail même (J1-R8 et J20-M47) et aussi au Tableau A.1.4.

3. Base de la Méthode de Calcul

Les équations de base utilisées dans la méthode sont cataloguées au tableau A.1.3.

4. Exemple développé

Le tableau A.1.4 présente un exemple développé du programme d'efficacité de la combustion qui s'applique à une chaudière chauffée au charbon.

Notez que le programme Visicalc fonctionne en changeant les données d'entrée. Lorsque EFF COMBUSTION est chargé, une série de chiffres d'entrée et de sortie apparaîtront, car ceux-ci sont les données utilisées pour le calcul précédent. L'utilisateur doit faire en sorte que toutes les données d'entrée sont changées pour correspondre au calcul à effectuer.

TABLEAU A.1.1: FEUILLE DE TRAVAIL POUR LE CALCUL DE RENDEMENT "EFF COMBUSTIBLE"

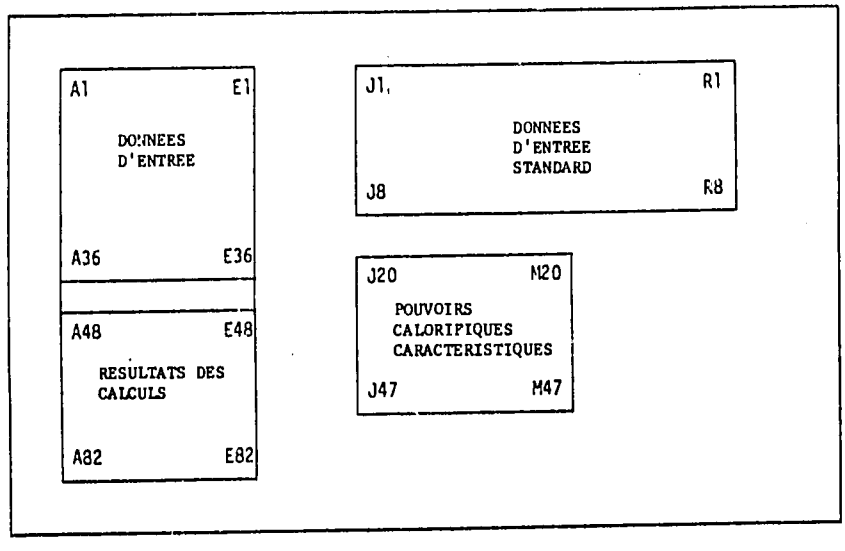


Tableau A.1.2 DONNEES D'ENTREE

	Symbole	Notes
Fraction de poids de cendre dans le combustible	A_{fuel}	(1) (2)
Fraction de cendre dans le combustible par rapport à la cendre volante	F_{FA}	(2)
Fraction de poids de combustibles dans la cendre de scorie	C_{SA}	(2)
Fraction de poids de combustibles dans la cendre volante	C_{FA}	(2)
Pouvoir calorifique brut du combustible ,kcal/kg	CV_G	(1)
Température du gaz de carneau, °C	T_{FG}	(3)
Température ambiante, °C	T_A	
Température de sortie de la centre de scorie, °C	T_{SA}	(4)
Oxygène dans le gaz de carneau sec, vol%	O_2	
Température du combustible de pré-chauffage, °C	T_{fuel}	(5)
Oxyde de carbone dans le gaz de carneau sec, vol%	CO	
Perte de radiation et de convection par la structure,%	L_{RC}	(6)
Température de purge, °C	T_{BD}	(7)
Eau d'alimentation par rapport à la purge, wt%	BD	(8)
Température de l'eau d'alimentation, °C	T_{H_2O}	(9)
CO_2 théorique maximum dans le gaz de carneau sec, vol%	CO_{2MAX}	(10)
Eau dans le combustible, wt%	H_2O_{fuel}	(1) (11)
Hydrogène dans le combustible, wt%	H_{fuel}	(1) (11)
K1 constant de caractéristique de combustible	K_1	(10)
K2 constant de caractéristique de combustible	K_2	(10)

Notes

(1) Ces données portent sur la qualité du combustible "chauffé". A noter que dans le cas de charbons, la qualité "chauffée" peut être significativement différente des analyses immédiates ou ultimes.

(2) La valeur devrait être de 0.00 à 1.00.

(3) Température <u>après</u> économiseurs ou pré-chauffeurs d'air

(4) Température à laquelle la scorie et/ou la cendre (autre que la cendre volante) quitte le four ou la chaudière

(5) Cette température devra être enregistrée si le combustible est préchauffé par des méthodes <u>externes</u> (mais <u>pas</u> la récupération de chaleur du four/chaudière). Le préchauffage externe ne sera courant que pour les huiles combustibles. En cas d'absence de préchauffage ou de préchauffage par récupération de chaleur (par exemple, les brûleurs de gaz auto-récupérateurs), la température ambiante peut être utilisée pour T_{fuel}.

(6) L_{RC} peut être la sortie du programme "Pertes de chaleur à travers des structur Chaudes". Une valeur typique serait environ 3% du combustible mis à feu pour ce qui concerne une chaudière ou four raisonnablement isolé fonctionnant à pleine capacité.

(7) Température de purge <u>après</u> toute récupération de chaleur.

(8) Pourcentage d'eau d'alimentation par rapport à la purge, <u>y compris</u> toute vapeur de détente produite par purge.

(9) Température de l'eau d'alimentation, y compris le condensat recyclé et l'appoint, mais avant le préchauffage dans l'économiseur.

(10) Ces valeurs dépendent entièrement des caractéristiques du combustible utilisé. Sélectionner la valeur appropriée à partir du Tableau A.1.4 ou dans le programme même.

(11) Ces valeurs dépendent de l'eau libre dans le combustible et de l'analyse même du combustible. Utiliser les données actuelles d'essai ou les valeurs <u>types</u> données au Tableau A.1.4.

TABLEAU A.1.3

PRINCIPE DE CALCUL

(dans l'ordre d'exécution)

(1) $LFA = \dfrac{A_{fuel} \times F_{FA} \times C_{FA} \times 808{,}300}{(1 - C_{FA}) \times CV_G}$

(2) $LSA = \dfrac{A_{fuel} \times (1 - F_{FA}) \times C_{SA} \times 808{,}300}{(1 - C_{SA}) \times CV_G}$

(3) $LFASH = \dfrac{A_{fuel} \times F_{FA} \times (T_{FG} - T_A) \times 21}{(1 - C_{FA}) \times CV_G}$

(4) $LSASH = \dfrac{A_{fuel} \times (1 - F_{FA}) \times (T_{SA} - T_A) \times 21}{(1 - C_{SA}) \times CV_G}$

(5) $CO_2 = \left[\dfrac{1 - O_2}{21}\right] \times CO_{2MAX}$

(6) $LDG = \dfrac{K1 \times (T_{FG} - T_A) \times (1 - 0.01 \left[LFA + LSA\right])}{CO_2}$

(7) $CV_G^0 = CV_G + (\left[T_{fuel} - T_A\right] \times 0.47)$

(8) $LH2O = \dfrac{\left[H_2O_{fuel} + 9H_{fuel}\right] \left[588 - T_A + 0.50\, T_{FG}\right]}{CV_G^0}$

(9) $LCO = \dfrac{K2 \times CO\,(1 - 0.01 \left[LFA + LSA\right])}{CO + CO_2}$

(10) $SIGMAL = LFA + LSA + LFASH + LSASH + LDG + LH2O + LCO + LRC$

(11) $LBD = \dfrac{\left[T_{BD} - T_{H_2O}\right] \times BD \times \left[100 - SIGMAL\right]}{\left(\left[T_{BD} - T_{H_2O}\right] \times BD\right) + \left(\left[100 - BD\right] \times \left[660 - T_{H_2O}\right]\right)}$

(12) $E = 100 - \left[LBD + LFA + LSA + LFASH + LSASH + LDG + LH2O + LCO + LRC\right]$

(13) $XSA = \left[\left(\dfrac{CO_{2MAX}}{CO_2}\right) - 1\right] \times 100$

Variables dérivés

LFA	pourcentage de perte d'énergie en tant que combustible dans la cendre volante
LSA	pourcentage de perte d'énergie en tant que combustible dans la cendre de scorie
LFASH	pourcentage de perte d'énergie en tant que chaleur sensible dans la cendre volante
LSASH	pourcentage de perte d'énergie en tant que chaleur sensible dans la cendre de scorie
LDG	pourcentage de perte d'énergie dans le gaz de carneau sec
CV_G^0	pouvoir calorifique brut de combustible + chaleur sensible dans le combustible
LH2O	pourcentage de perte d'énergie en tant qu'humidité dans le gaz de carneau
LCO	pourcentage de perte d'énergie en tant que CO non-brûlé dans le gaz de carneau
LBD	pourcentage de perte d'énergie dans la purge
SIGMAL	somme de pertes diverses, comme défini
E	rendement thermique global %
XSA	excès d'air, %

TABLEAU A.1.4

A.1

BOILER & FURNACE
EFFICIENCY PROGRAM

INTRODUIRE DONNEES D'ENTREE: TOUTES LES DONNEES NUMERIQUES DOIVENT ETRE INTRODUITES DANS COLONNE D. LES DONNEES OBTENUES D'ESSAIS DOIVENT ETRE INTRODUITES D'ABORD, LES DONNEES INDIQUEES DANS J1-8 à R1-8, ENSUITE. FINALEMENT, INTRODUIRE DONNEES D'IDENTIFICATION DE L'USINE ET AUTRE INFO.

consulter Tabl.A.1.2 pour version française.

TEST DATA	
WT FRAC ASH IN FUEL	.1
WT FRAC ASH TO FLYASH	.5
WT FRAC COMB IN SLAG ASH	.02
WT FRAC COMB IN FLYASH	.05
FUEL GROSS CV, KCAL/KG	6500
FLUE GAS TEMP, DEGR C	250
AMBIENT TEMP, DEGR C	20
SLAG ASH TEMP, DEGR C	300
VOL % O2 IN FLUE GAS	10
OIL FUEL TEMP, DEGR C	20
VOL % CO IN FLUE GAS	.01
STRUCT HEAT LOSS %	3.2
BLOWDOWN TEMP, DEGR C	205
% BLOWDOWN	4
BFW TEMP, DEGR C	50
TABLE DATA	
CO2 MAX	18.5
H2O FUEL	7
H FUEL	3.5
K1	.6
K2	63

NUMERICAL INPUT COMPLETE: ITEMS SUCH AS PLANT NAME ETC MAY NOW BE INPUT:

COMBUSTION EFFICIENCY CALCULATION

PLANT NAME	BIZERTA CEMENT FACTORY
TEST DATE	DEC 12 82
EQUIPMT. NUMBER	F 101
EQUIPMT. TYPE	SHELL BOILER
FUEL	BITUMINOUS COAL
FIRING RATE %	75
DESIGN CAPACITY	500 TONNES/HR

KEY TEST DATA

AMBIENT TEMP, DEG C	20
FLUE GAS TEMP, DEG C	250
FLUE GAS ANALYSIS	
O2	10
CO2 CALC	9.69
CO	.01
FUEL TYPE	
FUEL QUALITY	
H2O	7
H	3.5
ASH	.1
GROSS CV KCAL/KG	6500
% BLOWDOWN	4

LOSSES & EFFICIENCY (% GROSS CV)

COMBUSTIBLES IN FLY ASH	0.33
COMBUSTIBLES IN SLAG ASH	0.13
SENSIBLE HEAT IN FLY ASH	0.04
SENSIBLE HEAT IN SLAG ASH	0.08
DRY FLUE GAS	6.40
MOISTURE IN FLUE GAS	6.02
CO IN FLUE GAS	0.06
STRUCTURE	3.20
SUBTOTAL	16.26
BLOWDOWN LOSSES	0.88
TOTAL LOSSES %	17.14
EFFICIENCY %	82.86
EXCESS AIR %	90.91

E82

TABLEAU A.1.4 (continuation)

J.1

FUEL TYPE	K1	K2	CO2 MAX	H2O FUEL	H FUEL	
COKE	.69	70	20	2	1.1	COKE
ANTHRACITE	.67	65	20	1	3	ANTHRACITE
BITUMINOUS COAL	.6	63	18.5	7	5.5	BITUMINOUS COAL
COAL TAR	.58	62	17.9	.5	6.2	COAL TAR
PETROL'M FUELS	.53	48	15.7	.1	12.5	PETROL'M FUELS
NATURAL GAS	.34	32	11.7	0	25	NATURAL GAS

R8

J.20

QUELQUES VALEURS CALORIFIQUES TYPIQUES DE COMBUSTIBLES.

EXPRIMEES EN KCAL/KG BRUT A L'ETAT "TROUVE"

SOLID	BITUM COAL	5400-6550
	ANTHRACITES	6910-7125
	LIGNITE	3510
	PEAT	3900
	WOOD	3780
	COKE	6830
	COKE BREEZE	5333
	PETR. COKE	8333
PETROLEUM FUELS		
	NO 6 F.O.	10100
	NO 4 F.O.	10220
	NO 2 F.O.	10325
	DIST'LATE HTG OIL	10820
	DIESEL	10980
	KEROSENE	11110
	MOTOR GASOLINE	11200
	LIGHT NAPHTHA	11390
	LIQ BUTANE	11780
	LIQ PROPANE	11945
GASES	PROPANE-PURE	12037
	ETHANE	12403
	METHANE	13271

M.67

A.2. PERTES DE CHALEUR A TRAVERS DES STRUCTURES CHAUDES VERS L'ATMOSPHERE ("PERTES DE CHALEUR - STRUCTURES")

1. Introduction

Ce programme permet d'estimer la perte d'énergie de la surface extérieure de fours et chaudières sur la base de mesures de température de la surface de la structure. Les températures peuvent être déterminées à l'aide d'un thermocouple de contact ou d'un spyromètre infrarouge à non-contact, ce dernier étant particulièrement utile pour les fours rotatifs à ciment et à chaux.

2. Organisation du Programme

La feuille de travail du Visicalc est divisée en divers éléments, comme donné au Tableau A.2.1:

(1)	Introduction pour l'usager	(A1 - D37)
(2)	Valeurs diverses d'émissivité	(H1 - K35)
(3)	Constantes de convection	(M1 - N6)
(4)	Champ de calcul	(A40 - X51)
(5)	Sommaire des résultats	(V54 - Y61)

La structure peut être divisée en un nombre de sections (jusqu'à un total de 15), et pour chaque section les donnés suivantes d'entrée sont nécessaires:

(1)	Superficie de la surface, mètres carrés	(A)
(2)	Emissivité de la surface	(E)
(3)	Constante de convection	(C)
(4)	Température de la surface, ^{o}C	(TS)
(5)	Température ambiante, ^{o}C	(TA)

3. Base du Calcul

La perte de chaleur au travers d'une structure vers l'atmosphère consiste de deux éléments principaux, radiation et convection. La perte de chaleur par radiation et convection est calculée par les équations suivantes pour chaque sous-division de la surface totale:

Perte de chaleur par radiation (Kcal/heure):

$$QSR = 4.90\ EA \left[\left[\frac{TS+273}{100} \right]^4 - \left[\frac{TA+273}{100} \right]^4 \right]$$

Perte de chaleur par convection (Kcal/heure):

$$QSC = CA\ (TS - TA)^{1.25}$$

L'émissivité actuelle d'une surface peut être déterminée expérimentalement ou des valeurs caractéristiques peuvent être utilisées (voirs blocs H1 - K35 de la feuille de travail). Un radiateur au corps noir parfait a une valeur d'émissivité de 1.0.

Il faut remarquer que ce programme donne la perte de chaleur pour des structures dans des conditions sans vent et sous-estimera la perte de

chaleur de structures exposées au vent.

4. Exemple Développé

Le Tableau A.2.2 présente un exemple développé du programme de perte de chaleur. L'usager doit faire en sorte que toutes les données d'entrée soient changées pour correspondre à chaque nouveau calcul, autrement les données du calcul précédent seront conservées.

A.3. DEBITS DE GAZ PAR TUBE DE PITOT

1. Introduction

Les audits énergétiques nécessitent fréquemment la préparation de balances de matériel et de bilans calorifiques pour tout l'équipement important consommant de l'énergie. Il est souvent nécessaire de déterminer les débits d'air (ou de gaz de carneau) entrant et sortant de la plupart des chaudières, fours, sécheurs et systèmes HVAC; cela afin de préparer une balance acceptable. Il n'existe généralement pas d'installations permanente d'instruments servant à mesurer ces débits. Dans les situations où la pression d'air est suffisamment basse pour permettre à un trou d'accès d'être percé dans le tuyau ou le conduit, on peut effectuer une mesure raisonnable du débit à l'aide d'un tube de pitot portatif et d'un manomètre. Ce programme d'ordinateur fournit une méthode simple et rapide de conversion des relevés, ainsi effectués, en débit volumique et en débit massique.

Le tube de pitot devrait être acheté chez un fabricant de bonne réputation et devra êtra manufacturé selon des normes nationales appropriées (par exemple, americaines ou britanniques). Le Tableau A.3.1 représente un dessin de la tête d'un tube de pitot.

Le principe du fonctionnement d'un tube de pitot/manomètre est décrit au Tableau. Un manomètre est utilisé de préférence à d'autres instruments de mesure de pression en raison de sa sensibilité envers les pressions (relativement petites) en cause.

La pression totale d'un fluide s'écoulant dans un tuyau est la somme de deux éléments: la pression statique et la pression dynamique ou pression due à la vitesse d'écoulement de ce fluide. La pression statique est l'énergie potentielle (non-dirigée) du fluide (ou sa pression d'"éclatement"). La pression due à la vitesse d'écoulement est une mesure de l'énergie cinétique du fluide dans un direction donnée en vertu de son mouvement. Le tube de pitot consiste de deux tubes concentriques. Le tube interne a un trou de pression totale qui fait face à la direction de l'écoulement du fluide. Le tube est soumis à la pression due à la vitesse d'écoulement et à la pression statique. Le tube externe possède des trous de pression statique qui sont arrangés à 90° par rapport à la direction de l'écoulement du fluide. Ces trous sont soumis à la pression statique seulement.

Si on raccorde le tube de pitot au manomètre de façon à ce que les pressions

Tableau A.2.1. FEUILLE DE TRAVAIL POUR "PERTES DE CHALEUR - STRUCTURES"

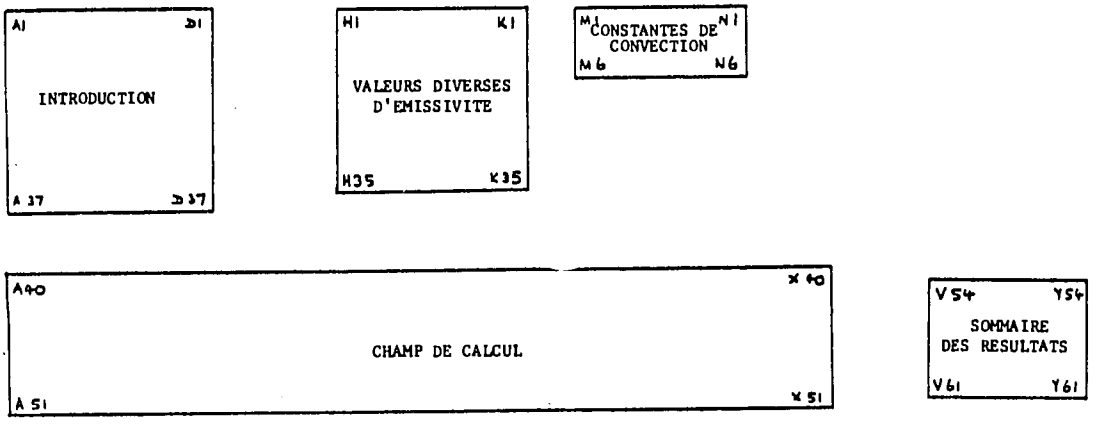


Tableau A.2.2 EXEMPLE DE CALCULS PERTES DE CHALEUR A TRAVERS LES STRUCTURES

A1 ⌐ ¬ D1

PERTES DE CHALEUR A TRAVERS
LES STRUCTURES VERS L'ATMOSPHERE

CETTE FICHE DE TRAVAIL EST DIVISEE EN 15 COLONNES DONT CHACUNE CORRESPOND A UNE ZONE BIEN DEFINIE DE LA SURFACE DE LA STRUCTURE. L'USAGER DOIT D'ABORD INTRODUIRE LES DONNEES D'ENTREE POUR LA PREMIERE ZONE SUR TOUTE LA PREMIERE COLONNE, PUIS LA SECONDE, ETC. IL PROCEDERA AINSI POUR TOUTES LES AUTRES ZONES QUI DOIVENT ETRE ANALYSEES.

IL EXISTE UN MAXIMUM DE 15 COLONNES, MAIS DANS LA PLUPART DES CAS, MOINS DE COLONNES SERONT NECESSAIRES. DANS CE DERNIER CAS, L'USAGER DEVRA COMPLETER LES COLONNES NECESSAIRES ET POURRA LAISSER LES COLONNES SUPERFLUES "EN BLANC". LÀ OU LES DONNEES PROVENANT DE CALCULS ANTERIEURS SONT RESTES CONSERVES, L'USAGER DOIT LES ELIMINER EN INSCRIVANT UN ZERO DANS LES BLOCS D'ENTREE.

LES PERTES DE CHALEUR AINSI CALCULEES POUR CHAQUE ZONE SONT DONNEES AU BAS DES COLONNES ET LE TOTAL DES PERTES DE CHALEUR POUR LA STRUCTURE APPARAIT SUR L'ECRAN DANS LA DERNIERE COLONNE SITUEE A L'EXTREME DROITE DE LA FICHE DE TRAVAIL.

A TITRE D'INFORMATION, LES VALEURS E SONT INDIQUEES DANS LES BLOCS HI-K35 ET LES CONSTANTES DE CONVECTION DANS M1-N6.

H1 ⌐ MISCELLANEOUS EMISSIVITY VALUES ¬ K1

	E
OIL BASED PAINTS, ALL COLORS EXCEPT ALUMINUM	.94
ALUMINUM PAINT, CLEAN/NEW	.45
" " DIRTY/OLD	.7
ROUGH WHITE MORTAR	.88
ROUGH RED BRICK	.93
ASBESTOS CEMENT	.96
ASBESTOS CLOTH	.9
EARTHENWARE	.92
FIRED CLAY	.91
CONCRETE	.94
LIME MORTAR	.91
WOOD	.9
ROUGH OXIDIZED WROUGHT IRON	.89
CAST IRON	.9
POLISHED WROUGHT IRON	.28
ALUMINUM, POLISHED	.15
OXIDISED	.25

⌊ D37 H35 ⌊ ⌊ K35

Tableau A.2.2 (cont.)

CONVECTION CONSTANT

VERTICAL	1.59
HORIZONTAL	2.16
SPHERICAL OR CYLINDRICAL	1.00

SECTIONS	....1..	....2..	....3..	....4..		....5..	....6.	....7.		....8..	....9..	...10..		...11..	...12.	...13..		...14..	...15..	TOTALS
INPUT:																				
AREA (A) SQ M	35	35	35	35	SQ M	35	35	35	SQ M	35	35	35	SQ M	35	35	35	SQ M	35	35	525 AREA SQM
EMISSIVITY (E)	.9	.9	.9	.9	E	.9	.9	.9	E	.9	.9	.9	E	.9	.9	.9	E	.9	.9	- - -
CONVECTION CONSTANT	2.16	2.16	2.16	2.16	CONV C	2.16	2.16	2.16	CONV C	2.16	2.16	2.16	CONV C	2.16	2.16	2.16	CONV C	2.16	2.16	- - -
SURFACE TEMP(TS) C	350	350	350	350	TS	350	350	350	TS	350	350	350	TS	350	350	350	TS	350	350	- - -
AMBIENT TEMP(TA) C	20	20	20	20	TA	20	20	20	TA	20	20	20	TA	20	20	20	TA	20	20	- - - -
HEAT LOSSES KCAL/H																				
RADIATION (QSR)	221143.5	221143.5	221143.5	221143.5	QSR	221143.5	221143.5	221143.5	QSR	221143.5	221143.5	221143.5	QSR	221143.5	221143.5	221143.5	QSR	221143.5	221143.5	3317153. QSR KCAL/HOUR
CONVECTION (QSC)	106332.1	106332.1	106332.1	106332.1	QSC	106332.1	106332.1	106332.1	QSC	106332.1	106332.1	106332.1	QSC	106332.1	106332.1	106332.1	QSC	106332.1	106332.1	1594981. QSC KCAL/HOUR
TOTAL (QSRC)	327475.6	327475.6	327475.6	327475.6	QSRC	327475.6	327475.6	327475.6	QSRC	327475.6	327475.6	327475.6	QSRC	327475.6	327475.6	327475.6	QSRC	327475.6	327475.6	4912134. QSRC KCAL/HOUR

HEAT LOSS FROM STRUCTURE----------

SUMMARY OF CALCULATION RESULTS------

TOTAL AREA, SQ M	525
HEAT LOSSES, KCAL PER HOUR	
---BY RADIATION	3317153.
---BY CONVECTION	1594981.
---TOTAL	4912134.

sur les trous à pression totale et à pression statique soient en opposition, le manomètre n'indiquera que la pression (nette) due à la vitesse d'écoulement. La pression due à la vitesse d'écoulement est liée au débit du fluide. Les débits de fluide peuvent être déterminés avec une précision de plus/ou moins 1% à l'aide d'un tube de pitot si un emploi exactement règlementé est fait de celui-ci, et si l'on applique différents facteurs de correction. En pratique, un degré de précision de plus ou moins 5% est probablement un chiffre réaliste si le tube de pitot est utilisé avec soin.

Le programme décrit ci-dessous peut s'appliquer à la mesure de l'air et des gaz de carneau, mais pas celle de la vapeur.

$$Q1 = \pi R^2 (VAV) \times 60$$

$$Q2 = Q1 \times \frac{T2 \times 273}{T1 + 273} \times \frac{(P1)}{(P2)}$$

$$M = Q1 \times 60 \times \frac{289}{(T1 + 273)} \times \frac{(P1)}{D} \times D$$

Q1 = débit volumétrique, m^3/min, à des conditions spécifiées de température (T2OC) et pression absolue (P2,N/m^2)

M = débit de masse, kg/heure

R = radius interne du tuyau, m

(VAV) = vitesse moyenne dans le tuyau, m/sec, aux conditions actuelles

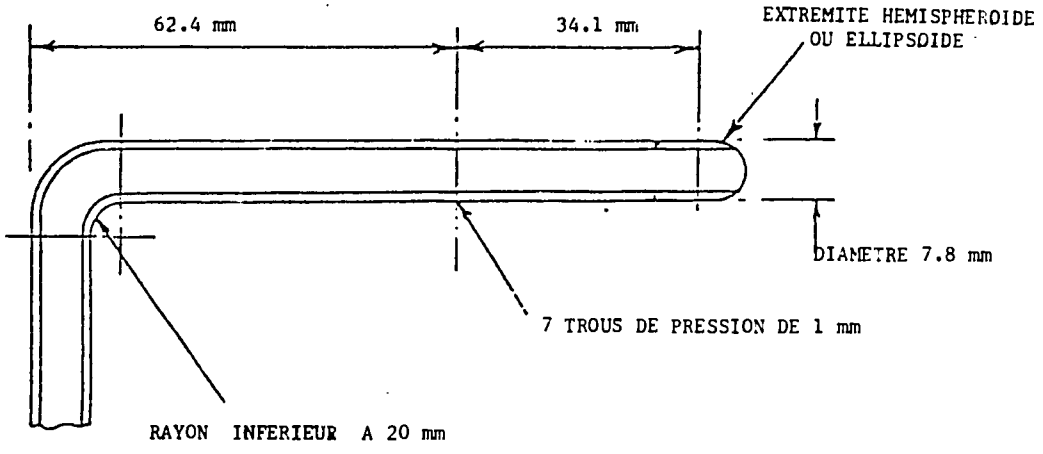
P1 = pression absolue aux conditions actuelles, N/m^2 abs.

$$P1 = 100{,}000 + (PS)$$

Afin d'en tirer les meilleurs résultats, les relevés de pitot devraient être pris selon l'arrangement montré au Tableau A.3.1. Toutefois, si cela n'est pas possible (par exemple, il peut être possible d'effectuer une traverse seulement), le programme calculera quand même le débit de gaz mais la fiabilité des résultats diminuera.

La procédure standard est de déterminer le profile de vitesse au long de n'importe quel diamètre de tuyau et de répéter ce procédé pour un deuxième diamètre à angles droits par rapport au premier. Dix jaugeages devraient être pris au long de chaque diamètre (voir Tableau A 3.3). La position de chaque point de jaugeage est sélectionnée afin qu'elle représente un anneau concentrique parmi d'autres, ayant tous la même zone à section transversale. Nous supposons que la vitesse moyenne en section transversale est égale à la moyenne numérique des vitesses locales mesurées au long des deux traverses. Les vitesses moyennes pour les deux traverses devraient être en accord raisonnable.

TABLEAU A.3.1: DIMENSIONS D'UN TUBE DE PITOT TYPIQUE



LES TUBES DE PITOT DU TYPE ILLUSTRE PEUVENT ETRE CONSIDERES COMME AYANT LE COEFFICIENT $C_0 = 1$. NEANMOINS, CECI DOIT ETRE VERIFIE AU PREALABLE AUPRES DU FABRICANT OU COMPARE AVEC UN MODELE STANDARD (PAR EX. BS-1042).

TABLEAU A.3.2: PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT D'UN TUBE DE PITOT

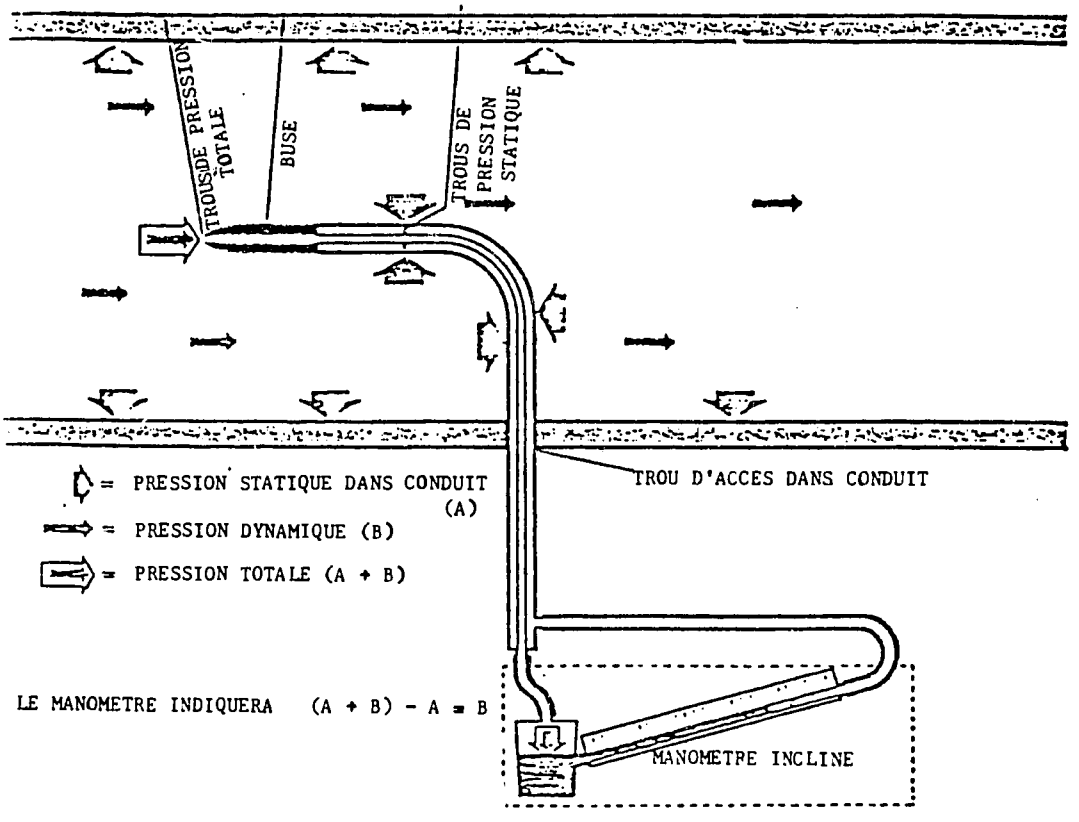


TABLEAU A.3.3

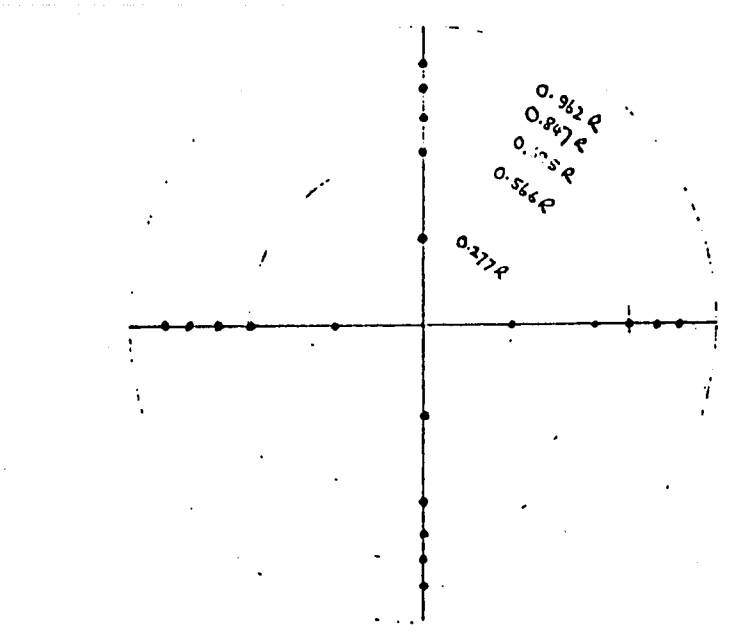


TABLEAU A.3.4.: FEUILLE DE TRAVAIL POUR "PITOT"

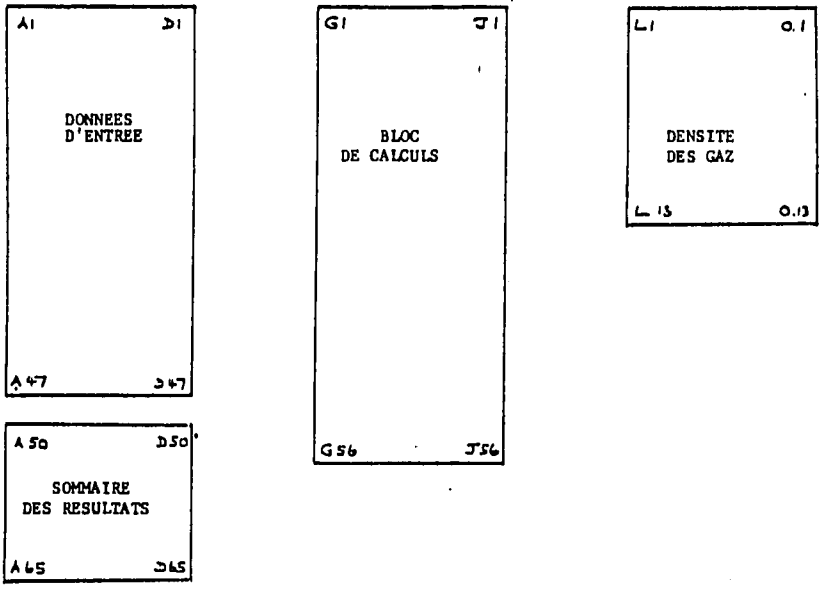


Tableau A.3.5 BASE DE CALCUL

(1) $$Y = \frac{(10^5 + PS)}{(10^5 + PS + PV}$$

(2) $$X = 0.085Y$$

(3) $$W = 1.291 \times \sqrt{\frac{(T1 + 273) \times 1.20 \times 10^8}{(1 + X) \times 289 \times PA \times (10^5 + PS) \times D}}$$

(4) $$VHN = W \sqrt{PVHN}$$

lorsque PVHN est un relevé parmi le total des relevés de pitot de traverses horizontales HN

(5) $$VVN = W \sqrt{PVVN}$$

lorsque PVVN est un relevé parmi le total des relevés de pitot de traverses verticales VN

(6) $$VHA = \frac{\sum VHN}{HN}$$

(7) $$VVA = \frac{\sum VVN}{VN}$$

(8) $$VAV = \frac{\sum VHN + \sum VVN}{HN + VN}$$

(9) $$Q1 = 188.5 \times R^2 \times VAV$$

(10) $$P1 = 10^5 + PS$$

(11) $$Q2 = \frac{Q1 \times (T2 + 273) \times P1}{(T1 + 273) \times P2}$$

(12) $$M = \frac{Q1 \times 17.34 \times 10^3 \times P1 \times D}{(T1 + 273) \times 10^5}$$

Variables dérivées

W constante de calcul intermédiaire suivant les conditions du gaz dans le tuyau
VHN vitesse, m/sec. au point N de la traverse horizontale
VVN vitesse, m/sec. au point N de la traverse verticale
VHA vitesse moyenne, m/sec. au long de la traverse horizontale
VVA vitesse moyenne, m/sec. au long de la traverse verticale
VAV vitesse moyenne dans le tuyau, m/sec

Tableau A.3.6

ESTIMATION DU DEBIT DU GAZ
PAR LA METHODE DU TUBE PITOT

LES DONNEES D'ENTREE SONT INDIQUEES CI-APRES ET LES CALCULS SONT EFFECTUES DANS LA ZONE SITUEE A DROITE DE CET ECRAN.

DONNEES D'ENTREE POUR NUMERO D'ESSAI 25

.....	AIR
(T1) DEG C	37
(PS) N/M2 G	125000
(PV) N/M2 G	105000
(PA) M-BARS	1015
(STD)(D) KG/M3	1.2
(R) METERS	.05
T2—SPECIF TEMP DEG C	20
P2—SPECIF PRES N/M2 ABS	100000
ITOT HORIZONTAL—NO.7	8
PVHN-1.....	6075
PVHN-2.....	5980
PVHN-3.....	6100
PVHN-4.....	6150
PVHN-5.....	6098
PVHN-6.....	5999
PVHN-7.....	6095
PVHN-8.....	6123
PVHN-9.....	0
PVHN-10.....	0
ITOT VERTICAL—NO.7	6
PVVN-1.....	6087
PVVN-2.....	6075
PVVN-3.....	6100
PVVN-4.....	6123
PVVN-5.....	5997
PVVN-6.....	5875
PVVN-7.....	0
PVVN-8.....	0
PVVN-9.....	0
PVVN-10.....	0

RESULTATS POUR NO. D'ESSAI... 25

VELOCITE MOYENNE DANS TUBE DANS CONDITIONS REELLES - M/SEC	67.34
DEBIT MESURÉ DANS CONDITIONS REELLES - METRES CUBES/MIN	102.81
DEBIT MESURÉ DANS CONDITIONS SPECIFIQUES - METRES CUBES/MIN	218.65
A TEMPERATURE-DEG C	20
A PRESSURE-N/M2 ABS	100000
	15528

BLOC DE CALCULS

X	.0466463
W	3.72E10
	8.38E10
	.6690964
	.8448363
VHN-1	67.40732
VHN-2	66.87819
VHN-3	67.54587
VHN-4	67.82214
VHN-5	67.53480
VHN-6	66.98435
VHN-7	67.51819
VHN-8	67.67309
VHN-9	0
VHN-10	0
VVN-1	67.47386
VVN-2	67.40732
VVN-3	67.54587
VVN-4	67.67309
VVN-5	66.97318
VVN-6	66.28845
VVN-7	0
VVN-8	0
VVN-9	0
VVN-10	0
SUM VHN	539.3639
VHA	67.42049
SUM VVN	403.3618
VVA	67.22696
VAV	67.33755
Q1	31.73282
P1	225000
Q2	67.48343
	T2 & P2
M	4792.475

GAS DENSITIES AT 16 C AND 1000 MBARS

	KG/M3
OXYGEN	1.33
NITROGEN	1.17
AIR	1.20
CARBON DIOXIDE	1.83
CARBON MONOXIDE	1.17
HYDROGEN	.084
METHANE	.667
WATER VAPOUR	.75

ANNEXE B

CALCUL DU TAUX DE RENDEMENT D'INVESTISSEMENTS DE CAPITAUX

1. Introduction

Les aspects économiques de projets portant sur l'économie d'énergie nécessitant des investissements de capitaux, sont au moins aussi importants que les aspects techniques. Lorsque l'on mesure l'équipement servant à économiser l'énergie, tel que les échangeurs de chaleur, la sélection de la taille optimale est habituellement déterminée par des considérations économiques plutôt que par des critères techniques.

Plusieurs techniques sont disponibles pour classer les projets selon le montant par lequel leurs économies d'énergie surpassent les frais de capitaux. Ces méthodes d'estimer le taux de rendement d'investissements ont essentiellement les mêmes objectifs:

(1) de fournir une base pour la sélection ou la réjection de projets en les classant par ordre de rentabilité.
(2) de faire en sorte qu'il n'y ait pas d'investissements faits dans des projets dont les bénéfices sont inférieurs aux frais de capitaux, qui est fréquemment exprimé comme étant un taux de rendement minimum ou taux de rendement "coupé".

Une méthode simple de classer les projets est de déterminer "la période de remboursement" (le temps pris à repayer le capital investi par les économies nettes obtenues). Toutefois, la valeur des économies et des coûts qui ont lieu à différentes époques ne sont pas reflétées adéquatement dans la détermination de la période de remboursement, par conséquent des techniques d'escompte sont utilisées maintenant pour évaluer la plupart des investissements importants.

2. Calculs de Rendement Disponible Escompté

Dans le travail d'évaluation d'un projet, l'objectif est de comparer et d'évaluer des projets alternatifs qui ont des "revenus disponibles nets" futurs à des époques différentes. Le revenu disponible net dans toute année donnée est la somme arithmétique des sorties d'espèces (par exemple des dépenses de capitaux, les frais d'exploitation, etc.) et les rentrées d'espèces (économies d'énergie). La difficulté est de déterminer la valeur actuelle de la série de revenus disponibles futurs qui seront produits par le projet. La valeur actuelle P (c'est à dire la valeur d'aujourd'hui) d'un montant d'argent qui sera gagné t années dans le futur est donné par:

$$P = \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

lorsque t est connu comme le taux d'escompte (semblable au taux d'intérêt obtenu d'argent investi avec une banque). L'application de cette formule fournit une méthode logique de comparaison des valeurs actuelles des différents montants d'argent qui deviendront disponibles à des époques différentes.

Une nécessité préalable à l'emploi de méthodes d'escompte est la détermination du profil du revenu disponible d'un projet. Le profil doit montrer toutes les dépenses et tout le revenu se rapportant au projet pour chaque année de la construction, de l'opération et de la démolition du projet. Les entrées et sorties d'espèces sont additionnées pour donner le revenu disponible net pour chaque année du projet.

La valeur nette actuelle du projet est définie comme étant la somme des valeurs individuelles actuelles du revenu disponible qui se présente dans chaque année du projet:

$$VNA = \sum \frac{F_t}{(1 + r)^t}$$

Evidemment, la VNA dépend de la valeur du taux d'escompte (+) qui est utilisé dans le calcul pour tout projet. Normalement le taux d'escompte adopté représente les frais de capitaux de l'entreprise effectuant l'investissement.

La signification de la valeur nette actuelle est qu'elle représente le surplus, à la valeur du jour, que le projet gagnera après avoir repayé l'investissement initial en capital. Lorsque des projets nécessitant le même montant en capital sont comparés, le projet ayant la plus haute VNA serait préféré car il représente le meilleur emploi de capital.

Les Tableaux suivant représentent un calcul de VNA typique:

(1) Le Tableau B.1 représente un profit de revenu disponible pour un projet hypothétique
(2) Le Tableau B.2 représente un calcul de VNA utilisant les revenus disponibles du tableau précédent.

On peut voir que la VNA diminue brusquement à mesure que le taux d'escompte augmente. En d'autres mots, la valeur réelle des économies d'énergie diminue à mesure que les coûts d'investissements de capitaux augmentent.

Le Tableau B.3 présente graphiquement le rapport pour VNA contre le taux d'escompte pour le même exemple. On peut voir que la VNA devient zéro à un taux d'escompte de 11% environ. Ce chiffre est connu sous le nom de "Taux de Rendement du Revenu Disponible Escompté" et est défini comme étant le taux d'escompte auquel la VNA est zéro. Le taux de rendement RDE est calculé normalement par itération ou graphiquement.

La signification du taux de rendement RDE est qu'il représente le coût maximum du capital qu'un projet peut se permettre de payer et en même temps arriver à une balance des gains et des pertes (y compris le remboursement de capitaux) à la fin de la vie du projet. Le rendement RDE fournit une méthode quantitative de classer les projets selon l'efficacité de l'emploi de capitaux; la méthode est particulièrement efficace pour comparer des projets de taille et de délais différents et est probablement la méthode la plus largement utilisée pour l'analyse économique d'investissements importants.

3. Programme de Calculateur

Un programme de calculateur "ROI" pour calculer la VNA d'une série de revenus disponibles a été décrit dans le format Visicalc, la procédure de calcul suivant la méthode décrite ci-dessus. Le Tableau B.4 présente la disposition de la feuille de travail.

L'usager introduit l'investissement nécessaire, la valeur du projet devenu inutile, les données se rapportant aux coûts et aux économies pour chaque année. Un total de 11 ans est permis dans le programme; normalement, la première (année 0) comprendra les investissements de capitaux importants, les dix prochaines années (années 1 - 10) représenteront la vie utile du projet, et l'année 11 est l'année dans laquelle l'équipement est démonté et une valeur en tant que rebut est obtenue. L'influence des économies et des coûts est en général très petite pour la plupart des projets après 10 ou 11 ans, et en pratique les données au-delà de cette période sont peu nécessaires.

Il est recommandé que l'usager introduise les données pour le projet dans les colonnes appropriées et ensuite qu'il règle l'écran dans la position indiquée au Tableau B.4, donnant le bloc de taux d'escompte C39 et le résultat de la VNA simultanément. Divers taux d'escompte peuvent ensuite être introduits et la VNA correspondante vue directement. Notez qu'une "référence avancée" existe et que l'usager doit utiliser la touche ! pour obtenir la VNA correcte après avoir introduit chaque valeur nouvelle de taux d'escompte.

4. Exemple Développé

Les Tableaux B.5 et B.7 présentent la feuille de travail du calculateur pour l'exemple décrit précédemment (Tableau B.1, etc.). Trois feuilles de travail sont données pour expliquer la conséquence du changement du taux d'escompte de 5% à 10% et finalement de 10.808%, où la VNA est proche de zéro (c'est à dire que le taux de rendement du RDE pour ce projet est de 10.808%). Le Tableau B.8 donne les trois présentations d'écran que l'usager examinera pour les divers taux d'escompte.

TABLEAU B.1 - PROFIL DU REVENU DISPONIBLE

PROJET HYPOTHETIQUE DE RECUPERATION DES PERTES DE CHALEUR

¥ ou $ ou £	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Investissement de capital initial	(60,000)	(20,000)										
Valeur du rebut en fin de vie utile												8,000
Valeur des économies d'énergie		10,000	15,000	15,000	15,000	15,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	
Frais d'exploitation												
emploi		(1,000)	(1,000)	(1,000)	(1,000)	(1,000)	(1,000)	(1,000)	(1,000)	(1,000)	(1,000)	
utilités		(1,000)	(1,500)	(1,500)	(1,500)	(1,500)	(2,000)	(2,000)	(2,000)	(2,000)	(2,000)	
maintenance		-	(500)	-	(500)	-	(1,000)	-	(1,000)	-	-	
frais généraux		(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	
Revenu disponible net	(60,000)	(12,500)	11,500	12,000	11,500	12,000	15,500	16,500	15,500	16,500	16,500	8,000

Les parenthèses ( ) indiquent des dépenses .

TABLEAU B.2

TABLEAU ILLUSTRATIF DES CALCULS DU REVENU DISPONIBLE NET

	Nombre d'années												SOMME DES REVENUS DISPONIBLES ANNUELS
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Revenu disponible net (non escompté)	(60,000)	(12,500)	11,500	12,000	11,500	12,000	15,500	16,500	15,500	16,500	16,500	8,000	63,000
Taux d'escompte de 5%													
Facteur d'escompte	1.000	0.952	0.907	0.864	0.823	0.784	0.746	0.711	0.677	0.645	0.614	0.585	
Valeur actuelle	(60,000)	(11,900)	10,431	10,368	9,465	9,408	11,563	11,732	10,494	10,643	10,131	4,680	27,015
Taux d'escompte de 10%													
Facteur d'escompte	1.000	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	
Valeur actuelle	(60,000)	(11,363)	9,499	9,012	7,855	7,452	8,742	8,465	7,239	6,996	6,369	2,800	3,066

Taux d'escompte % par an	Valeur nette actuelle ¥ ou £ ou $
0	63,000
5	27,015
10	3,066

Tableau B.3
Tableau B.4

TABLEAU B.4: FEUILLE DE TRAVAIL POUR LE PROGRAMME "ROI"

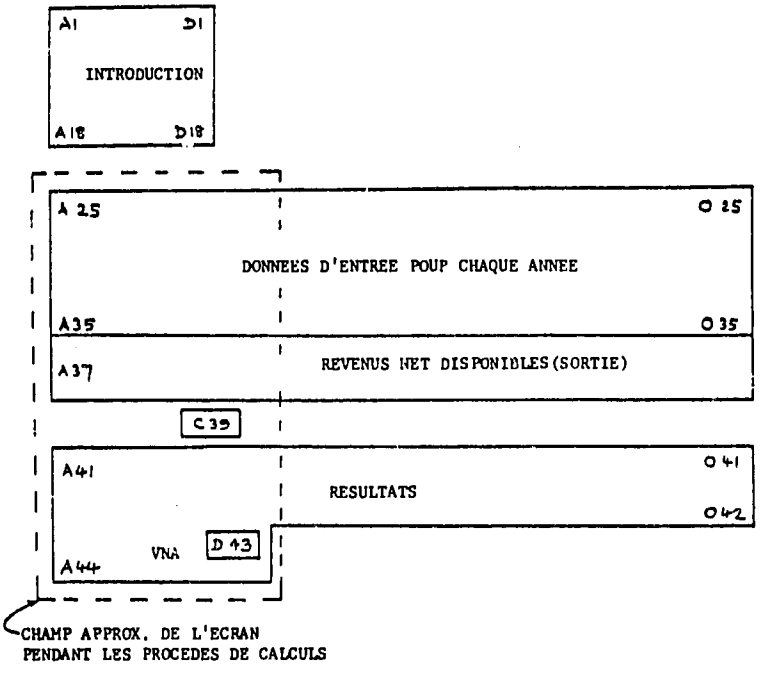


TABLEAU B.3

RAPPORT ENTRE LA VALEUR NETTE ACTUELLE
ET LE TAUX DE RENDEMENT DU REVENU DISPONIBLE ESCOMPTÉ

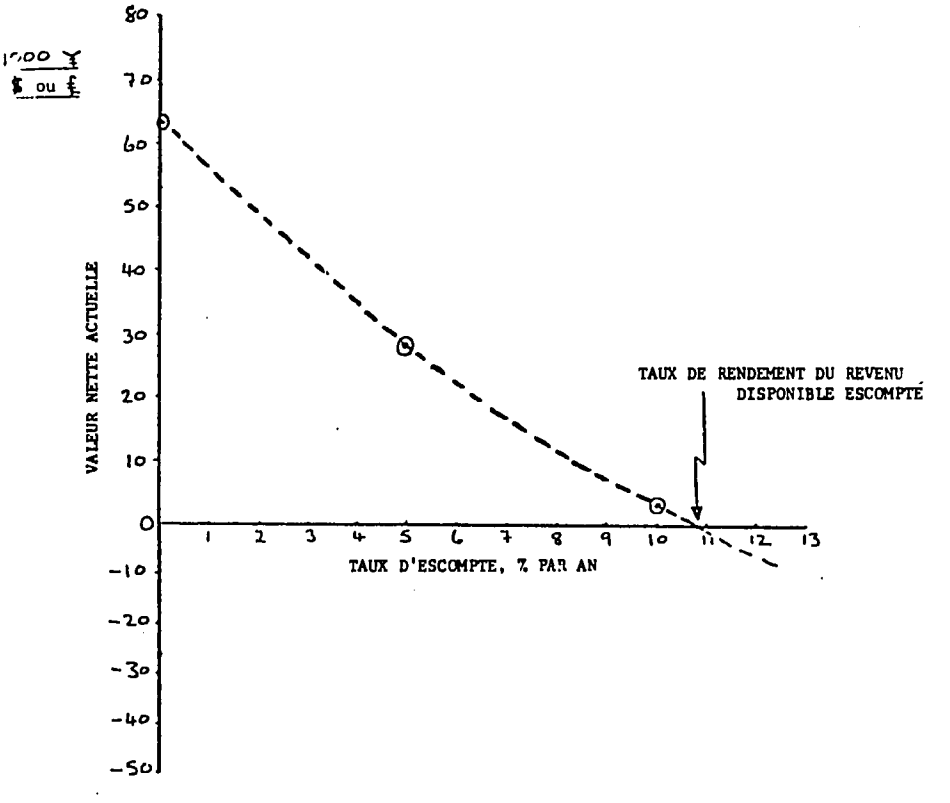


Tableau B.5

CALCUL DU TAUX DE RENDEMENT

CE PROGRAMME SERT A CALCULER LA VALEUR NETTE ACTUELLE D'UNE SERIE DE REVENUS DISPONIBLES PAR SUITE D'UN INVESTISSEMENT DE CAPITAL. EN CHANGEANT LE FACTEUR D'ESCOMPTE (TAUX D'INTERET), L'USAGER POURRA DETERMINER LE TAUX D'ESCOMPTE AUQUEL LA VALEUR NETTE ACTUELLE DE L'INVESTISSEMENT ATTEINDRA ZERO, SOIT LE TAUX DE RENDEMENT DU "REVENU DISPONIBLE ESCOMPTE".

CETTE FEUILLE DE TRAVAIL COMMENCE EN LIGNE 25 ET PERMET DE FAIRE DES CALCULS SUR UNE PERIODE DE 12 ANS. L'INVESTISSEMENT A LIEU A L'AN 0 ET LA VIE UTILE DU PROJET EST SUPPOSEE ETRE DE 12 ANS.

TABLEAU B. 5

EXEMPLE DE CALCUL AU TAUX D'ESCOMPTE DE 5 %

ANNEE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
INVESTISSEMENT DE CAPITAL	60	20										
VALEUR DU REBUT EN FIN DE VIE UTILE												
VALEUR DES ECONOMIES D'ENERGIE	0	10	15	15	15	15	20	20	20	20	20	0
FRAIS D'EXPLOITATION												
Main d'oeuvre	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
UTILITES	0	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2	2	0
MAINTENANCE	0	0	.5	0	.5	0	1	0	1	0	0	0
FRAIS GENERAUX	0	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	0
REVENU DISPONIBLE NET	-60	-12.5	11.5	12	11.5	12	15.5	16.5	15.5	16.5	16.5	8
FACTEUR D'ESCOMPTE	1	.9523810	.9070295	.8638376	.8227025	.7835262	.7462154	.7106813	.6768394	.6446089	.6139133	.5846793
VALEUR ACTUELLE	-60	-11.9048	10.43084	10.36605	9.461078	9.402314	11.56634	11.72624	10.49101	10.63605	10.12957	4.677434

TAUX D'ESCOMPTE 5 POURCENT

VALEUR NETTE ACTUELLE 26.98216

VALEUR NETTE ACTUELLE PAR UNITE D'INVESTISSEMENT .3747522

Tableau B.6
Tableau B.7

TABLEAU B.6 -- EXEMPLE DE CALCUL AU TAUX D'ESCOMPTE DE 10%

ANNEE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
INVESTISSEMENT DE CAPITAL	60	20										
VALEUR DU REBUT EN FIN DE VIE UTILE												8
VALEUR DES ECONOMIES REALISEES	0	10	15	15	15	15	20	20	20	20	20	0
FRAIS D'EXPLOITATION												
Main d'oeuvre	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
UTILITES	0	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2	2	0
MAINTENANCE	0	0	.5	0	.5	0	1	0	1	0	0	0
FRAIS GENERAUX	0	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	0
CASH-FLOW NET (REVENU DISPONIBLE NET)	-60	-12.5	11.5	12	11.5	12	15.5	16.5	15.5	16.5	16.5	8
TAUX D'ESCOMPTE	10 POURCENT											
FACTEUR D'ESCOMPTE	1	.9090909	.0264463	.7513148	.6830135	.6209213	.5644739	.5131581	.4665074	.4240976	.3855433	.3504939
VALEUR ACTUELLE	-60	-11.3636	9.504132	9.015778	7.854655	7.451056	8.749346	8.467109	7.230864	6.997611	6.361464	2.803951
VALEUR NETTE ACTUELLE	3.072329											
VALEUR NETTE ACTUELLE PAR UNITE D'INVESTISSEMENT	.0426712											

TABLEAU B. 7 -- EXEMPLE DE CALCUL AU TAUX D'ESCOMPTE DE 10.808 POURCENT

ANNEE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
INVESTISSEMENT DE CAPITAL	60	20										
VALEUR DU REBUT EN FIN DE VIE UTILE												
VALEUR DES ECONOMIES D'ENERGIE	0	10	15	15	15	15	20	20	20	20	20	0
FRAIS D'EXPLOITATION												
Main d'oeuvre	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
UTILITES	0	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2	2	0
MAINTENANCE	0	0	.5	0	.5	0	1	0	1	0	0	0
FRAIS GENERAUX	0	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	0
REVENU DISPONIBLE NET	-60	-12.5	11.5	12	11.5	12	15.5	16.5	15.5	16.5	16.5	8
TAUX D'ESCOMPTE	10.808 POURCENT											
FACTEUR D'ESCOMPTE	1	.9024619	.8144375	.7349988	.6633085	.5986106	.5402233	.4875309	.4399781	.3970635	.3583347	.3233834
VALEUR ACTUELLE	-60	-11.2808	9.366031	8.819986	7.628047	7.183327	8.373461	8.044261	6.819661	6.551548	5.912522	2.587067
VALEUR NETTE ACTUELLE	.0051373											
VALEUR NETTE ACTUELLE PAR UNITE D'INVESTISSEMENT	7.135E-3											

Tableau B.8 PRESENTATIONS D'ECRAN

YEAR: (année)	.....0...
CAPITAL INVESTMENT (investissement de capital)	60
RESIDUAL SCRAP VALUE (valeur du rebut en fin de vie utile)	
VALUE OF ENERGY SAVINGS (valeur des économies d'énergie)	0
OPERATING COSTS (frais d'exploitation)	
LABOR (main d'oeuvre)	0
UTILITIES (utilités)	0
MAINTENANCE (maintenance)	0
OVERHEADS (frais généraux)	0
NET CASH FLOW (revenu disponible net)	-60
DISCOUNT RATE-----	5 PERCENT
(taux d'escompte)	
DISCOUNT FACTOR (facteur d'escompte)	1
PRESENT VALUE (valeur actuelle)	-60
NET PRESENT VALUE (valeur nette actuelle)	26.78216
NPV PER UNIT INVESTMT (VNA par unité d'investissement)	.3747522

YEAR:	.....0...
CAPITAL INVESTMENT	60
RESIDUAL SCRAP VALUE	
VALUE OF ENERGY SAVINGS	0
OPERATING COSTS	
LABOR	0
UTILITIES	0
MAINTENANCE	0
OVERHEADS	0
NET CASH FLOW	-60
DISCOUNT RATE-----	10 PERCENT
DISCOUNT FACTOR	1
PRESENT VALUE	-60
NET PRESENT VALUE	3.072329
NPV PER UNIT INVESTMT	.0426712

YEAR:	.....0...
CAPITAL INVESTMENT	60
RESIDUAL SCRAP VALUE	
VALUE OF ENERGY SAVINGS	0
OPERATING COSTS	
LABOR	0
UTILITIES	0
MAINTENANCE	0
OVERHEADS	0
NET CASH FLOW	-60
DISCOUNT RATE-----	10.808 PERCENT
DISCOUNT FACTOR	1
PRESENT VALUE	-60
NET PRESENT VALUE	.0051373
NPV PER UNIT INVESTMT	7.135E-5

3.2 SEMINAIRE SUR LES ECONOMIES ET UNE UTILISATION PLUS EFFICACE DE L'ENERGIE

Claude Garrigues

1. Mercredi, 30 mars 1983 - DEUXIEME SEANCE (APRES-MIDI)

Les économies d'énergie doivent être considérées comme un élément important dans la stratégie des pays de l'Afrique de l'Ouest (Sommaire).

Les économies d'énergie constituent un élément important en soi, telle est la conclusion majeure qui peut être tirée des deux études réalisées par la Banque Mondiale concernant le MAROC et le SENEGAL.

MAROC: 13% de l'énergie consommée par le secteur industriel, c'est à dire 100 000 tep, pourrait être économisé moyennant un investissement de 80 millions dollars U.S.: la période de remboursement sur l'investissement moyenne serait de 1.7 an, et les économies annuelles de 50 millions de dollars U.S.

SENEGAL: La consommation actuelle est de 750 000 tonnes de pétrole (bois de chauffe exclu). Selon l'étude, 10% de cette quantité pourrait être économisée si l'on faisait un investissement dont la période de remboursement est de moins de trois ans. Ce pourcentage pourrait être porté jusqu'à 40% si l'on considère les économies réalisables à la suite d'investissements pour l'extension et la modernisation de l'usine.

Economies d'énergie ne signifie pas privation ou réduction du revenu: Une voiture équipée d'une cinquième vitesse a une consommation réduite, coûte moins cher en frais d'entretien, est moins bruyante et dure plus longtemps. Un immeuble chauffé à 29°C ne signifie pas un plus grand confort: au contraire, cela signifie de l'inconfort, plus de dépenses, et des problèmes respiratoires.

Economies d'énergie signifie emploi: réaliser les Audits-Energie, produire les équipements, les mettre en place demande de la main d'oeuvre et crée des emplois.

Le seul effet à revers des économies d'énergie est l'effet sur le Produit National Brut: Les économies d'énergie réduisent le P.N.B. de la même manière que les accidents de voiture l'augmentent.

Alors que l'évaluation du potentiel d'économies d'énergie est relativement simple, c'est la mise en oeuvre de mesures d'économie qui est plus difficile à réaliser. En matière d'économie d'énergie, le processus de prise de décision est très particulier. Il diffère de celui qui a pour objet la mise en place d'une cimenterie ou d'une usine textile en ce sens que le potentiel d'économies d'énergie peut être réalisé avec peu d'investissements et parfois sans investissements du tout; ainsi, le vendeur n'est

pas motivé à se déplacer pour aller rencontrer les personnes responsables de la prise de décisions, leur donner des renseignements en la matière, et essayer de les convaincre.

Par conséquent, le décideur est seul à décider et souvent il ne se rend pas compte lui-même du potentiel réalisable: c'est à ce moment-là que le gouvernement doit évaluer ce potentiel et venir le sensibiliser.

Nous traiterons de ce sujet plus loin.

---

2. Jeudi, 31 mars 1983 - TROISIEME SEANCE (MATIN)

Exposé des résultats d'études de cas réalisées dans des pays d'Afrique de l'Ouest et autres pays en développment.

LE POTENTIEL D'ECONOMIES D'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE MAROCAINE:

Pour évaluer ce potentiel, nous avons visité 9 unités industrielles, obtenu des informations sur les consommations énergétiques concernant 15 autres; nous avons ensuite calculé les consommations spécifiques de ces 24 usines et, en les comparant avec leurs homologues européens, nous en avons déduit le potentiel réalisable pour l'ensemble des 24 unités industrielles; puis, par extrapolation raisonnée, avons calculé le potentiel d'économie d'énergie existant dans l'ensemble du secteur industriel marocain.

Comme nous l'avons mentionné au cours de la séance du 30 mars, nous estimons que des économies de 100 000 tep s'élevant à 50 millions de dollars U.S. pourraient être réalisées à la suite d'investissements en équipement de réadaptation, c'est § dire de programmation, de régulation, de calfeutrage, d'isolation, et de récupération des pertes de chaleur.

Des économies supplémentaires pourraient être réalisées en remplaçant les produits pétroliers d'importation par du charbon importé ou du gaz naturel de provenance locale.

---

3. Jeudi, 31 Mars 1983 - TROISIEME SEANCE (MATIN)

Exposé des résultats d'études de cas réalisées dans des pays d'Afrique de l'Ouest et autres pays en développement.

LE POTENTIEL D'ECONOMIES DANS L'INDUSTRIE SENEGALAISE:

Cette étude est tout à fait semblable à celle que nous avons réalisée au MAROC. Mais comme le secteur industriel Sénégalais n'est pas aussi déve-

loppé que celui Marocain, nous avons eu suffisamment de temps pour nous intéresser à d'autres aspects de l'économie, comme par exemple les compagnies de distribution d'eau et d'électricité, le secteur de la construction et celui des transports.

Nous avons visité 10 usines, et lorsque la possibilité se présentait, avons calculé les consommations spécifiques; nous les avons alors comparées avec celles de leurs équivalents européens et en avons déduit le potentiel d'économies d'énergie.

En nous basant sur des données obtenues par une autre société d'études, nous avons également calculé la consommation spécifique par les trois autres activités industrielles (compagnies d'eau, d'électricité et de raffinage) et avons évalué leur potentiel d'économies d'énergie.

Nous avons alors extrapolé ce potentiel à l'ensemble des secteurs industriels et des services d'utilité. D'après ces calculs, le potentiel d'économies d'énergie est de 36 000 tep (8% de la consommation) à la suite de la réadaptation de l'équipement, et de 154 000 tep (30% de la consommation) à la suite d'investissements en équipement pour la modernisation ou l'accroissement de la capacité, la période de remboursement étant, dans ce dernier cas, plus longue.

---

4. QUATRIEME SEANCE (APRES-MIDI)

Exposé des études effectuées dans les domaines des transports et du bâtiment en Afrique de l'Ouest et autres pays en développement.

PREMIERE EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIES D'ENERGIE DANS LES SECTEURS DES TRANSPORTS ET DU BATIMENT:

Dans cette étude, notre but n'était pas de procéder à une analyse complète, mais de voir si des efforts particuliers valaient la peine d'être faits dans ces secteurs.

Dans certains cas, nous avons pu calculer les économies résultant de la réalisation de nos recommandations, dans d'autres, nous n'avons pas pu le faire. Toutefois et en dépit de la nature incomplète de notre approche, nous sommes convaincus qu'il existe au SENEGAL un grand potentiel d'économies d'énergie dans ces secteurs.

Nos principales recommandations sont:

- Rendre la marche à pied et l'utilisation de bicyclettes plus agréables et moins dangereuses qu'elles ne le sont actuellement.

- Favoriser les transports collectifs en
  (a) offrant plus de possibilités à la compagnie dakaroise des transports publics (SOTRAC).

(b) rendant la circulation des transports collectifs plus facile.

Les économies potentielles sont de 8000 tep, soit 2 900 000 dollars U.S.

- Donner une formation en conduite économique aux conducteurs de la SOTRAC.
  Les économies potentielles sont de 600 tep, soit 220 000 dollars U.S.
  Le programme de formation des conducteurs coûterait 38 000 dollars.

- Etablir un train de banlieue entre DAKAR et RUFISQUE.
  Economies potentielles: 4300 tep, soit 1 500 000 dollars U.S.

- Instaurer la journée de travail continue.
  Economies potentielles: 4000 tep, soit 1 400 000 dollars U.S.

- Offrir à la Société Nationale des Chemins de Fer la possibilité de regagner sa part normale du marché des transports.
  Economies potentielles: 9000 tep, soit 3 200 000 dollars U.S.

- Promouvoir les installations centrales au lieu de climatiseurs individuels.
  Economies potentielles: 19 000 tep, soit 6 800 000 dollars U.S.

- Promouvoir des techniques de construction et un urbanisme adaptés aux coutumes locales et abandonnant les modèles européens des années 1960.

- Promouvoir des chauffe-eau solaires adaptés aux conditions locales et ne suivant pas les modèles européens.
  Economies potentielles: 2700 tep, soit 1 million de dollars U.S.

- Décourager l'utilisation de plâtre qui demande plus de combustible que le ciment.

- Promouvoir la terre stabilisée.

- Promouvoir les systèmes de climatisation naturels et passifs, l'utilisation de matériaux isolants contre la chaleur du soleil, les doubles toits, les doubles parois, supprimer les ouvertures orientées vers l'Ouest et l'Est, utilisation de plantes sur les patios ou comme couverture de toits et de parois.

- Promouvoir les humidificateurs d'air au détriment des climatiseurs dans les climats secs et chauds.

- Planter des arbres dans les zones urbaines.

Il est difficile d'évaluer le potentiel d'économies d'énergie résultant de ces recommandations: il est assurément considérable, et certainement supérieur à 50 000 tep. Nous pensons ainsi qu'il serait intéressant de procéder à une étude complète et d'évaluer le rendement des dépenses exigées pour cette longue liste de recommandations et leur impact sur le SENEGAL ou sur tout autre pays.

---

5. SEPTIEME SEANCE (MATIN)

Analyse du rendement énergétique dans le secteur industriel 1.

METHODE DE REALISATION DES AUDITS D'ENERGIE:

Pour réaliser les audits d'énergie, nous suivons les procédures suivantes:

(a) Evaluation du potentiel d'économies d'énergie de l'ensemble.
(b) Examen approfondi de l'unité industrielle ou du bâtiment.
(c) Etablissement de la liste des mesures d'économies d'énergie.
(d) Sélectionnement des mesures économisantes.
(e) Etablissement de la liste définitive.
(f) Exécution des recommandations.
(g) Mise en place de systèmes enregistreurs (tableaux à bord, etc.) pour la surveillance de la performance de l'usine ou du bâtiment.

La description plus détaillée de ces procédures est comme suit:

(a) Evaluation du potentiel d'économies d'énergie

Nous recueillons des informations sur la consommation d'énergie, la production, la main d'oeuvre, la surface desservie, etc.; puis nous visitons les lieux pour comprendre les procédés utilisés et pour identifier les quelques possibilités d'économies évidentes. Une telle visite se fait en une ou deux heures.

Puis nous établissons les bilans énergétiques, calculons les consommations spécifiques et quelques rapports. Ces chiffres sont alors comparés à d'autres cas semblables et nous permettent de déduire le potentiel d'économies. Un ou deux jours suffisent pour établir ce potentiel.

(b) Examen approfondi des locaux

Nous visitons une nouvelle fois les locaux: chaque endroit de l'installation où l'énergie est transformée, est soumis à un examen systématique et pour chaque endroit nous essayons d'obtenir le maximum d'informations chiffrées. Cette étape se fait généralement en une journée.

(c) Etablissement de la liste des mesures d'économies d'énergie

Chaque fonction de chaque système ou système subordonné où l'énergie est transformée, est confrontée avec la liste des techniques d'économies d'énergie suivante:

- modifications apportées aux systèmes énergétiques en fonction de l'environnement

- tarification (dépenser le moins possible pour l'énergie)

- programmation (ne fournir de l'énergie que lorsque nécessaire)
- régulation (ne fournir que la quantité d'énergie requise)
- calfeutrage (éviter l'utilisation d'énergie en dehors de l'usage intentionné)
- isolation
- récupération d'énergie
- remplacement par d'autres sources d'énergie
- passage à d'autres produits
- passage à un autre procédé.

Chaque fois qu'une possibilité d'économie d'énergie est identifiée, elle est chiffrée en quantité, prix et investissement. Cette étape est la plus longue et exige de 10 à 20 jours.

(d) Sélectionnement des mesures économisantes

La liste des mesures économisantes est soumise au responsable de l'usine ou au gérant du bâtiment pour obtenir son accord: certaines mesures sont retenues, d'autres ne le sont pas, parce qu'irréalisables. Ce sélectionnement n'exige que deux heures.

(e) Etablissement de la liste définitive

Les mesures retenues sont classées suivant l'efficacité des coûts; il sera tenu compte de leurs interactions entre elles. La liste définitive est alors être établie et l'objectif économies d'énergie est visé. Cette étape exige de deux à trois jours.

(f) Exécution des recommandations

Nous assistons l'industriel ou le gestionnaire du bâtiment lors de ses négociations avec les entrepreneurs ou les ingénieurs ainsi qu'avec les compagnies de service d'électricité ou de combustibles; généralement, il suffit d'un meeting de deux heures pour ces discussions.

(g) Mise en place d'un système enregistreur (tableaux de bord, etc.) pour surveiller la performance de l'usine ou du bâtiment

Nous recommandons généralement au gestionnaire de présenter à un rythme mensuel ou annuel quelques rapports chiffrés ou consommations spécifiques afin qu'une évaluation complète puisse être faite de la performance énergétique de l'installation.

Conclusion

Ce processus est certes complexe mais il permet à coup sûr de trouver toutes les occurrences de gaspillage, alors qu'un "walk thrcugh", certes plus rapide, n'en signalera qu'une partie très faible; de plus, l'évaluation de l'efficacité des coûts se fait ainsi très rapidement, et un classement préalable en mesures rentables et non-rentables devient facile. Le travail de chiffrage en est d'autant plus réduit.

Il n'en reste pas moins vrai qu'on doit s'en tenir à cette démarche systématique si l'on cherche à réaliser des économies d'énergie.

---

6. TROISIEME SEANCE (MATIN)

Analyse économique des économies d'énergie - mesures à prendre dans le Secteur Industriel 2.

ACTIONS GOUVERNEMENTALES:

Comme nous l'avons dit précédemment, les gouvernements ne peuvent pas compter sur l'initiative des sociétés privées pour promouvoir l'économie d'énergie; ils ne peuvent compter que sur eux-mêmes.

Nous proposons donc la liste d'actions suivante:

- fixation du prix de l'énergie en accord avec son prix futur
- promotion de l'idée d'économies d'énergie (presse, radio, Télé)
- démarrage d'une campagne publicitaire décentralisée et adaptée pour tous, allant des plus hautes autorités gouvernementales jusqu'au bas de l'échelle sociale.
- instaurer un organe administratif responsable des économies d'énergie
- mise en place d'un système pour receuillir des données et des statistiques dans tous les secteurs
- lancement d'un plan quinquennal sur les économies d'énergie
- instaurer un système d'encouragements financiers (mais cette action n'est pas la plus importante).

---

7. HUITIEME SEANCE (APRES-MIDI)

Economies d'énergie dans le Secteur Industriel 2.
Etudes de cas.

A -- SECHOIR POUR PHOSPHATES

En suivant notre méthode, nous essaierons d'obtenir une idée première du rendement énergétique du séchoir sans procéder au calcul complet.

Dans ce but, nous comparerons la quantité de fuel oil brûlée avec la quantité d'eau évaporée à partir des roches phosphatées.

Q = tonnes de fuel-oil

Pci = pouvoir calorifique du fuel (thermies/tonne de fuel oil)

We = teneur en eau du phosphate humide (tonne d'eau/tonne de phosphate sec)

Ws = teneur en eau du phosphate sec (tonne d'eau/tonne de phosphate sec)

M = tonnage de phosphates

$$R = \frac{\text{quantité de chaleur nécessaire pour transformer l'eau en vapeur}}{\text{thermies contenues dans le fuel}}$$

$$R = \frac{(We - Ws) \times M \times 600}{Pci \times Q}$$

si $R > 0.9$: les données sont erronnées
si $0.9 > R > 0.8$: l'attention doit être portée vers d'autres sections de l'usine

si $R < 0.8$: des économies d'énergie sont réalisables

Dans le cas $R < 0.8$, cela vaut bien la peine d'identifier les endroits où existent des possibilités d'économies d'énergie: nous établirons donc des bilans thermiques d'après le schéma ci-inclus, et en nous basant sur ces chiffres, chercherons des techniques qui pourront être appliquées au séchoir.

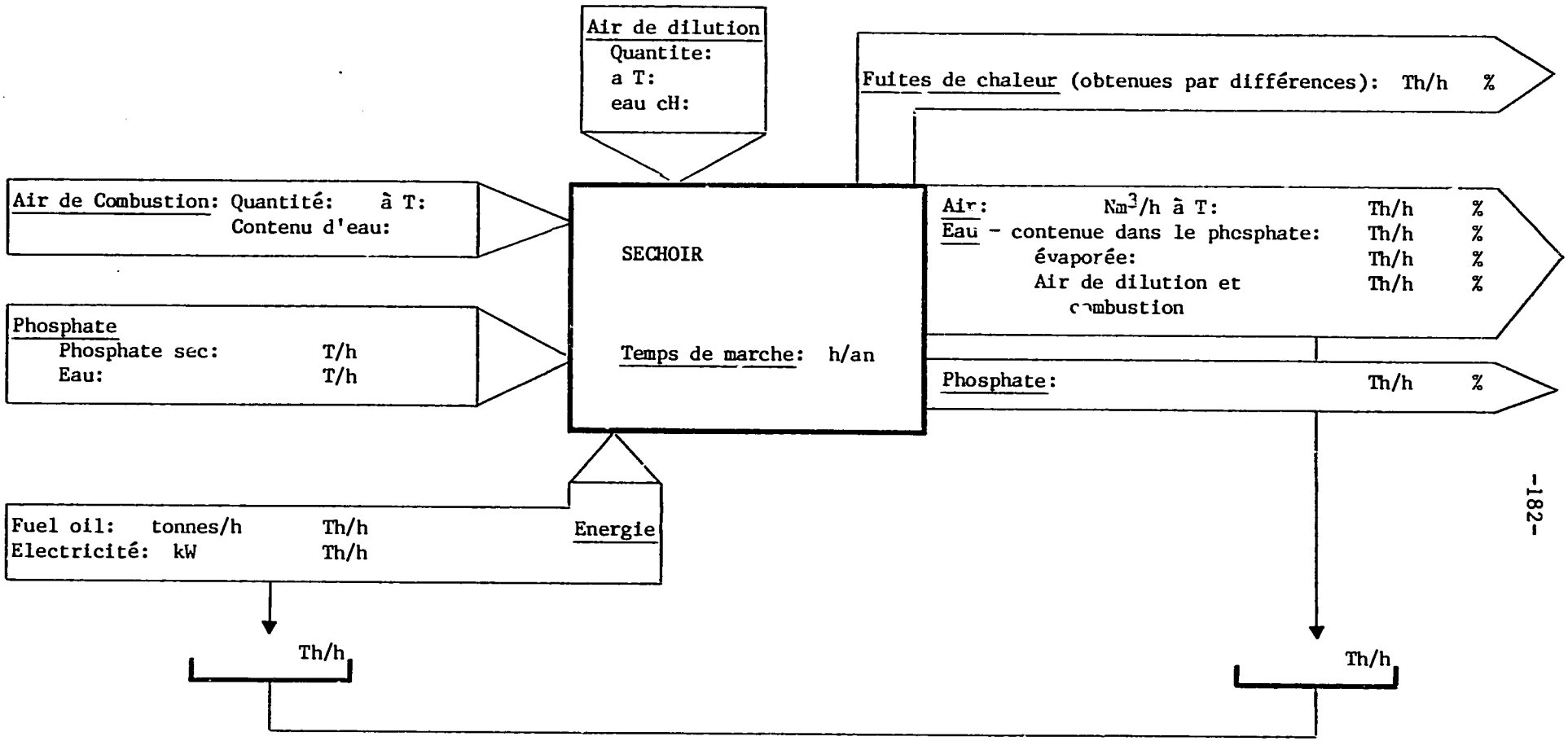


Figure 1. Repartition des Flux dans un Sechoir

8. HUITIEME SEANCE (APRES-MIDI)

Economies d'énergie dans le Secteur Industriel 2.
Etude de cas.

B -- CIMENTERIE

L'activité Economies d'Energie dans une cimenterie est un travail spécialisé. Nous limiterons donc notre objectif à l'identification des problèmes plutôt qu'à leur résolution.

En premier lieu, il s'agit d'évaluer la performance entière de l'usine en calculant deux rapports:

- thermies par tonne de scories
- kWh par tonne de ciment
- tonne de ciment par tonne de scories (en tenant compte du fait qu'un certain tonnage de scories est ré-expédié avant d'être transformé en ciment).

Ces rapports seront alors comparés avec ceux obtenus de cimenteries comparables.

La prochaine étape sera de comparer les consommations spécifiques de chaque section de la cimenterie (kWh/tonne, ou litre de gasoil/tonne de produit). Nous étudierons successivement les sections suivantes:

- Carrière
- Broyage primaire
- Dosage
- Séchage
- Broyage secondaire
- Homogénéisation
- Stockage 1
- Fours
- Stockage 2
- Meulage

Ces rapports seront comparés avec ceux obtenus de cimenteries comparables. Il sera pris note des différences et on s'adressera à la direction pour obtenir des explications.

En dernier lieu on visitera la cimenterie pour identifier les endroits où il reste encore des possibilités d'économiser de l'énergie (chauffage du fuel lourd, groupe électrogène de secours, éclairage, etc.).

---

9. ONZIEME SEANCE (APRES-MIDI)

Economies d'énergie dans les transports.

POTENTIEL D'ECONOMIES D'ENERGIE DANS LES TRANSPORTS A DAKAR:

L'Information est extraite d'une enquête effectuée par la SONED et par SCET International qui a été publié en Mai 1981.

L'enquête étudie les moyens de transport utilisés à DAKAR. Leurs caractéristiques sont indiquées dans le tableau ci-joint. Il en ressort que:

- les véhicules particuliers utilisent beaucoup de combustible, demandent beaucoup d'espace ce qui se traduit en beaucoup d'investissements: 33 000 véhicules particuliers consomment 41% des carburants utilisés à DAKAR, utilisent 86% de l'espace libre, mais n'assurent que 33% des trajets.

- par contre, les 264 autobus de la SOTRAC consomment 20% du carburant, ne demandent que 2% de l'espace libre, mais assurent 37% des trajets; leur rendement exprimé en trajet x km / litre de fuel est de 3.3 fois supérieur à celui des voitures particulières.

- faire passer 1% des trajets effectués en voitures particulières vers les autobus de la SOTRAC résultera en une économie de 1600 tep par an, ce qui correspond à 0.6 millions de dollars U.S.

On peut en conclure que le gouvernement devrait promouvoir les autobus de la SOTRAC au détriment des véhicules particuliers.

Un travail appréciable a déjà été accompli dans ce sens: la SOTRAC dispose actuellement de 400 autobus. Nous estimons que les moyens de transport collectifs ont accru leur part du marché de 56% en 1980 à 65%.

Ceci a permis de réaliser des économies de 15 000 tep, ce qui correspond à 5.6 millions de dollars U.S.

De telles économies sont-elles le maximum réalisable? Nous ne le pensons pas. A TUNIS, par exemple, le taux est de 68%, et nous pensons qu'un taux de 70% pourrait être atteint à DAKAR. Cela signifie que 8000 tep ou 3 millions de dollars U.S. pourraient être économisés en plus.

SOTRAC

Quant à SOTRAC elle-même, la consommation moyenne est de 391/100 km pour les autobus equipés d'un moteur MAN et de 451/100 km pour les autobus équipés d'un moteur FULGUR. La SOTRAC n'utilisera à l'avenir que des moteurs MAN, ce qui signifie que la consommation moyenne va se rapprocher de 391/100 km.

Cette consommation est pareille à celle de la Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP) qui réalise justement 391/100 km. En fait, la SOTRAP fait mieux que la RATP si l'on tient compte de son taux d'occupation plus élevé (29% contre 22%).

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES TRANSPORTS MOTORISES A DAKAR

pour un jour moyen

Modes	Consommation (ℓ/100 km)	Déplacements (Nb)	%	Véhicules (Nb)	Occupation du sol	Occupation totale (1)	%	Rendement énergétique (2)	Observations
Car rapides	20	180'000	19	500	1.8	900	2	30	(1) = nbre de véhicules x x occupation du sol
Taxis officiels	15	75'000	8	1600	1	1600	4	11	(2) = total des déplacements / ℓ / jour
Voitures particulières	10	315'000	33	33'000	1	33'000	86	21	total des déplacements = = nombre de trajets x x distance moyenne des trajets
Deux-roues motorisés	4	30'000	3	8000	0.3	2400	6	25	
Autobus	41.5	350'000	37	264	2.5	660	2	70	
		950'000	100			38'560	100		

Cela signifie-t-il qu'il n'existe pas d'autres possibilités d'économies d'énergie? Bien sûr que non. Il existe au moins deux autres possibilités:

- la formation en conduite économique à l'adresse des conducteurs: 5% au moins pourrait être ainsi économisé, ce qui équivaut à 600 tep ou 221 000 dollars U.S. La formation exigerait une période de 4 mois et couûterait 38 000 dollars U.S.

- l'améliorations des conditions de circulation pour les transports collectifs: la RATP a atteint le chiffre de 391/100 km en 1981, alors qu'en 1975 il était de 371/100 km; cet accroissement de la consommation est dû uniquement à la détérioration des conditions de circulation; on peut donc espérer une amélioration de 5% si les transports collectifs et autobus de la SOTRAC peuvent circuler plus librement sans être continuellement arrêtés par des embouteillages ou stationnements interdits.

Economies réalisables: 600 tep, soit 221 000 dollars U.S.

SECTION 4

LE SECTEUR DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

4.1

PROGRAMME DE MAINTENANCE PREVENTIVE DANS LE SECTEUR PRODUCTION D'ELECTRICITE

Paul H. Shoun

1. Introduction

Depuis cinq ans, je suis membre d'une équipe de cinq dont la tâche est de faire la critique du mauvais fonctionnement des systèmes générateurs d'électricité aux Etats-Unis et au Canada. Actuellement, je préside le Sous-comité des Analyses du Mauvais Fonctionnement (Disturbance Analysis Subcommittee - anciennement, le Reliability Issues Task Force) qui est subordonné au Comité des Opérations du Conseil sur la Fiabilité Electrique d'Amérique du Nord (North American Electric Reliability Council - NERC). En septembre 1981, nous avons publié notre deuxième rapport dont l'objet était d'analyser les principales pannes d'électricité qui ont eu lieu entre le 1er juin 1979 et le 31 décembre 1980. A partir du 1er janvier 1981, nous avons effectué l'analyse des données sur le mauvais fonctionnement à un rythme annuel.

L'étude des cas de mauvais fonctionnement qui ont eu lieu en 1979 a fait ressortir que c'est l'insuffisance de maintenance adéquate qui détient la deuxième place parmi les raisons possibles du mauvais fonctionnement des systèmes et des pannes d'électricité. Nous sommes d'avis que la pratique d'une maintenance qui laisse à désirer invite au mauvais fonctionnement des systèmes et aux pannes d'électricité. On a heureusement enregistré depuis 1979 une amélioration de la maintenance du réseau d'électricité en Amérique du Nord à la suite de l'attention portée à ce sujet. Mais dans les années futures, au fur et à mesure que les producterus d'électricité se trouveront à court de fonds opératoires, ils seront très tentés à réduire la maintenance. Chaque fois que le cash-flow du producteur d'électricité se trouve réduit, un grand nombre de

Previous Page Blank

planificateurs de budget s'adresseront en premier lieu aux comptes de la maintenance. Ceci peut se faire parce que la maintenance préventive peut être reportée à plus tard, du moins temporairement. Ceci est également possible parce que peu de dirigeants dans l'administration comprennent vraiment à fond l'importance de la maintenance. Et par surcroît, il y a toujours un délai de temps considérable avant que les conséquences deviennent percevables.

C'est le philosophe-leader syndical Eric Hoffer de San Francisco qui a souligné il y a plusieurs années, l'importance de la maintenance. Lors d'un interview télévisé, Mr. Sevareid de la chaîne de télévision américaine CBS a demandé à M. Hoffer comment il a pu prévoir avec tant de précision la relance économique allemande et japonaise après la 2ème Guerre Mondiale. Mr. Hoffer a répondu "je n'ai pas eu de difficultés à prévoir cette relance car je connaissais bien leur capacité de maintenance. J'ai étudié leurs fichiers de maintenance. Parlez-moi d'un pays qui a une bonne capacité de maintenance et je vous dirai qu'il s'agit d'un pays ou d'une entreprise à succès".

Un bon programme de maintenance à titre préventif est la clef d'une production d'électricité sûre et fiable. Un bon programme de maintenance contribuera également fortement à l'effort d'efficacité énergétique et à l'économie d'énergie. Un tel programme doit être intégré dans un plan d'ensemble de construction et d'opération de centrales électriques. Pour qu'un programme de maintenance préventive puisse succéder, il faut cinq éléments essentiels: une bonne conception et planification, une bonne construction et installation, de bonnes procédures de contrôle et d'essais, de bonnes inspections durant l'opération, une maintenance périodique, ainsi que de bonnes procédures de documentation statistique et l'entretien d'un fichier contenant l'information collectée. Dans la Tennessee Authority Valley (TVA) nous avons confié la maintenance et l'opération à nos meilleurs ingénieurs, techniciens, et ouvriers spécialisés. On pourrait affirmer que la

conception d'un système qui ne donne pas priorité à l'opération et à la maintenance, n'est pas une conception à vrai dire. Au contraire, les besoins de l'opération et de la maintenance doivent être considérés comme primordiaux aux stades de la planification et de la conception d'un système générateur d'électricité. En supposant qu'un système générateur d'électricité a été bien planifié et que les détails d'ingénierie sont bien énoncés, il est essentiel que la construction se tienne aux prescriptions de ces plans. Si la qualité de la main d'oeuvre ou de l'installation n'est pas adéquate, il est essentiel qu'une formule d'inspection ou d'essais soit mise en oeuvre, capable de dépister ces erreurs et cet écart. Une bonne inspection sur le site et un bon système d'essais peut venir compenser bien des erreurs, et, en cas de nécessité, permet un remaniement de la conception ou une réinstallation qui assurera la marche et la coordination du système tel qu'il a été conçu à l'origine.

Dès l'installation, et lorsque soumis à une bonne série d'essais, il est d'importance primordiale de mettre sur pied un horaire régulier d'essais, d'inspections, et de vérifications opératoires. Pour que l'équipement fonctionne bien, il faut mettre en oeuvre und bonne maintenance suivie. Pour déterminer la fréquence optimale des essais opératoires et de maintenance de routine qui assureront la fiabilité des divers éléments du système, le mieux est d'avoir recours à l'expérience.

Enfin, mais d'importance toute aussi grande, il faut citer la nécessité d'entretenir un bon fichier sur l'information recueillie et une bonne documentation statistique. Le bon entretien de tels fichiers est d'autant plus importante que la taille de l'organisme est grande. L'information recueillie sur les pièces composantes défectueuses, les enrayements au bon fonctionnement du système, et les pannes d'électricité doivent être communiquées aux planificateurs et au personnel responsable de la conception des plans. Ainsi, munis de ces informations, il pourront planifier et créer des systèmes générateurs d'électricité qui seront chaque fois meilleurs.

Rien ne peut remplacer un bon programme de maintenance préventive et les producteurs d'électricité doivent accorder à ce sujet la plus haute priorité. C'est l'effort le moins coûteux et le plus efficace du point de vue des dépenses qu'un producteur d'électricité puisse faire.

2. Principes fondamentaux

Un bon programme de maintenance constitue une partie du programme d'assurance de qualité et ainsi, est un des éléments-clef du fonctionnement sûr et fiable de la production d'électricité. Un programme d'ensemble est fondé sur une bonne conception des plans et sur des travaux de construction bien exécutés qui doivent reconnaître le fait que tout équipement exige de la maintenance sous une forme ou une autre. Dès l'installation de l'équipement, les essais et la certification de l'équipement terminés, il faut avoir recours au programme qui comprend un horaire de routine, des essais, et des vérifications opératoires afin que les conditions défectueuses qui précèdent l'enrayement au bon fonctionnement puissent être dépistées. Font partie du programme: a/ une bonne documentation sur l'information collectée des inspections et des essais effectués par le personnel de maintenance, sur les résultats de ces travaux, et sur les dates antérieurs et futures de ces travaux; b/ transmission de l'information sur la performance de l'équipement aux planificateurs et au personnel responsable de la conception, afin que les groupes générateurs d'électricité futurs soient plus sûrs, fiables, et économiques. Une bonne docuentation et entretien de fichiers informatifs sur la performace de l'équipement, sur les inspections et les travaux de maintenance effectués, sont essentiels.

Le programme de maintenance préventive est un aspect parmi les opérations du producteur d'électricité qui ne se heurte directement à aucune opposition d'intérêt public ou environnemental, ni à celle de l'abonné, et n'est pas subordonné à des actions législatives et judiciaires. A vrai dire, la maintenance ne doit répondre qu'à elle-même et décide

d'elle-même quel est le niveau optimal de maintenance pour l'obtention d'une opération sûre et fiable du groupe. Ce niveau dépend, par contre, de l'attitude financière à court terme du producteur.

Si vous vous proposez de développer un programme de maintenance préventive pour la première fois, les propos suivants vous seront peut-être utiles:

La maintenance préventive (MP) est, selon les écrits, décrite comme étant un programme dont la procédure est soit simple, soit complexe et sophistiquée. En effet, la maintenance peut revêtir ces deux formes. L'intensité du programme est dictée par le degré de fiabilité et de disponibilité visé et par le coût durant le cycle de vie de l'équipement. Pour que vous puissiez avoir recours à la MP dans votre organisme, nous énonçons ci-après quelques principes fondamentaux de la MP. Que vous soyez un des responsables d'un groupe générateur d'électricité, d'une usine individuelle, ou d'un autre organisme ou entreprise, vous trouverez que ces mêmes principes sont valables pour tous ces organismes producteurs d'électricité.

Qu'est la Maintenance Préventive? (MP) -- La MP est la réparation systématique ou le remplacement de pièces bien déterminées afin d'atteindre les objectifs visés du programme.

La Maintenance Préventive est-elle nécessaire ou justifiable dans le contexte de votre activité? -- En guise de réponse, il faut d'abord examiner de près plusieurs aspects de la maintenance et voir quelles sont les exigeances du fonctionnement de l'équipement en question.

1. Quel est de façon précise l'objectif ultérieur de l'usine, du groupe, ou de la pièce d'équipement en question?

   Il est évident que la fiabilité d'un générateur d'urgence d'un hôpital doit être supérieure à celle d'un générateur d'un site de construction. Dans le premier cas, il s'agit d'un équipement qui

soutient la vie du patient, tandis que dans le dernier, il s'agit d'un problème économique. Or, pas tous les cas peuvent être catégorisés de façon si nette. C'est la raison pour laquelle l'analyse doit parvenir à identifier le but d'utilisation de l'usine, du groupe, ou équipement étudié. Il faut ici rappeler le fait qu'une fiabilité de 99 pourcent exige 5 ou 10 fois plus de dépenses qu'une fiabilité de 80 pourcent.

2. Quelles sont précisément les conséquences d'une panne inattendue? C'est la réponse à cette question qui pourra probablement déterminer l'intensité de MP nécessaire. Lorsque chaque pièce d'équipement est doublée en ligne d'une pièce de rechange, la MP est moins pressante que lorsqu'il s'agit d'une pièce d'importance critique sans rechange. Les conséquences économiques provenant des défaillances pourraient bien surpasser ceux de la prévention de telles défaillances.

3. Lorsqu'il y a défaillance, quelle est la longueur du délai "permissible" jusqu'à la reprise des opérations?

   C'est le délai "permissible" qui déterminera le degré de simplicité des plans, le nombre de pièces de rechanges à être stockées, et le cycle de Maintenance Préventive.

Après avoir établi le besoin de MP, comment exécuter le programme?

I. Dès l'établissement du programme, il faut d'abord chercher à obtenir le maximum d'information sur chaque pièce composante clef. Sur le fichier informatif définitif de chaque pièce composante il y aura bien des révisions, mais les données suivantes doivent y être contenues:

   A. Nomenclature - Description de l'équipement selon son "pedigree", comme par ex.: moteur - G.E., T.E.F.C., 350 CV, tri-phasé, 480 V, numéro du modèle, numéro de série, etc.

   B. Données sur l'entretien de l'équipement dans l'environnement tels que: moteur pulvérisateur - poudre fine et température ambiante de 65°C, 2 roulements, en opération 5 jours par semaine, etc.

   C. Coordonnées et emplacement par rapport au groupe, tel que: pulvérisateur A-4, élévation 481, coin nord-ouest, etc.

   D. Données critiques sur l'opération et la maintenance: ce type d'information peut être rédigé en quelques lignes à l'intention du mécanicien ou comporter plusieurs pages xérographiées d'un cahier de procédures.

   Pour commencer, rien n'est mieux qu'un fichier à cartes. Bien d'excellents groupes ont échoué parce qu'automatisés avant d'être préparés à cet effet.

II. Après avoir bien repéré l'équipement, l'étape suivante du programme est de relever toute l'historique des défaillances et des réparations des pièces composantes. Un tel fichier aidera à établir le cycle d'inspection/réparations et facilitera à l'ouvrier spécialisé la tâche de faire le diagnostic du mauvais fonctionnement de l'équipement.

Ensuite, il faut se procurer les recommandations du fabricant sur le cycle d'entretien de l'équipement. Si cette information n'est pas disponible sur le site, il faut contacter le fournisseur. Ces cycles recommandés constituent un excellent point de départ, mais par la suite, c'est d'après la performance de l'équipement et l'expérience opératoire que le cycle sera le mieux établi.

III. Déterminer le cycle inspection/réparation/remplacement. Le plan ainsi déterminé doit faire face aux contraintes suivantes:

A. Activité opératoire maximale entre les inspections.

B. Considérations de garantie (si existantes).

C. Temps moyen jusqu'à défaillance, établi d'après l'analyse de l'historique de l'équipement et de la documentation fournie par le fabricant.

IV. Niveler les exigeances en un horaire bien réalisable.

Il est surprenant de voir combien d'inspections trimestrielles, mensuelles, mi-annuelles et hebdomadaires sont prévues pour une première semaine de juillet!

Une approche de nivellement est de faire le total du nombre d'heures exigées pour la tâche de tous les techniciens. On divise alors ce total d'heures par 12, puis on fait 12 "tas" de cartes de fichier distribuables. Ainsi, une équipe spécialisée pourra alors être appelée à effectuer les travaux de MP après que ce "nivellement" aura été fait.

Installation du programme — Alors que le mécanisme pour établir le programme MP est simple, il n'est pourtant pas facile d'en convaincre la direction et le personnel. La direction exigera eut-être une analyse d'ingénierie qui puisse démontrer que les dépenses initiales seront amortisées. La question sera posée pourquoi le coût de la maintenance augmente au début. La réponse à ces questions et préoccupations légitimes exprimées par la direction, exige une analyse de fond de l'historique de performance, des coûts prévus (directs ou conséquents), et de la performance future prévue.

Pour convaincre les autres de l'importance du service de maintenance, il faudra le faire avec finesse, persévérance, et diplomatie. Car, diront-ils, tout a bien marché jusqu'ici sans MP, à quoi bon un tel programme?

Il faut cultiver le programme — La continuité du programme MP doit être soigneusement entretenue, autrement il disparaîtra. Un bon programme est dynamique et s'améliore continuellement à partir de ses propres expériences. Soins et attention doivent lui être accordés afin que la survie du progrmme soit assurée au-delà de quelques mois.

Tout comme la plupart des bonnes organisations productrices d'électricité, la Tennessee Valley Authority (TVA) met l'accent sur la maintenance préventive, ceci dans le cadre de l'ensemble de ses programmes. Comme il existe un grand nombre de MP, on ne peut les discuter à fond dans le cadre de ce séminaire par manque de temps. C'est pourquoi je voudrais vous recommander le document "Tennessee Valley Authority's Maintenance Program - Our Success, Failures, and Future Plans"* (Programme de maintenance préventive de la TVA - nos succès, échecs, et plans futurs). Ce document est un exemple d'un de nos plus importants programmes de maintenance préventive.

En raison des coûts élevés des combustibles et de la mauvaise conjoncture nous devons parvenir à mieux utiliser les installations existantes. Or, la maintenance préventive constitue un des meilleurs moyens pour atteindre cet objectif.

---

* Disponible chez: W.B. Martin, Jr., Tennesse Valley Authority,
100 IBM Building, Chattanooga, Tennessee 37401, USA

4.2 TARIFICATION FONDEE SUR LES COUTS ET AUTRES OPTIONS D'ECONOMIES D'ENERGIE POUR LES PRODUCTEURS D'ELECTRICITE

Richard W. Leigh

INTRODUCTION

La demande croissante et les sévères contraintes financières auxquelles la construction de nouvelles installations doit faire face a causé de sérieuses difficultés à un nombre de producteurs d'électricité dans les pays en développement. Dans cette série de conférences, nous examinerons plusieurs alternatives d'économies d'énergie et verrons avant tout que, dans des circonstances idéales, la croissance de la demande d'électricité peut être ralentie à des frais qui sont inférieurs à ceux que coûterait l'électricité supplémentaire. Etant donné que le choix du type d'économie d'énergie se fait généralement au niveau des consommateurs, les options ne sont pas toujours faites rationnellement, alors qu'entretemps, les producteurs d'électricité se trouvent dans l'obligation de fournir une capacité génératrice nouvelle. Nous examinerons plusieurs obstacles qui empêchent la formulation d'un choix qui incorporerait le mélange idéal de mesures d'économies d'énergie et d'options d'expansion au niveau producteur. Dans ce qui suit, nous élaborerons deux approches qui permettront de surmonter ces obstacles.

En vue de quantifier cette discussion, nous décrirons tout d'abord les aspects économiques de l'opération d'un service producteur d'électricité, c'est à dire, nous en formulerons les coûts. Nous considérerons alors les charges que le producteur d'électricité devra satisfaire; nous classerons ces charges selon les secteurs de consommation et selon la structure d'utilisation, et nous démarquerons les obstacles aux activités d'économies d'énergie pour chaque cas. Nous incorporerons dans cette discussion la notion qui sera développée dans d'autres conférences, notamment que la croissance des charges peut soit être arrêtée à un prix de $0,08/kWh (28 F

CFA/kWh) ou moins, soit déplacée vers les heures creuses à un prix de $0,04/kWh (14 F CFA/kWh) ou même moins. Dans les deux dernières sections de cet exposé, nous discuterons les options qui se présentent au producteur d'électricité pour la promotion et diffusion de mesures d'économies d'énergie efficaces, telles que la re-tarification des prix et l'intervention directe pour l'obtention d'économies d'énergie.

LES COUTS D'OPERATION DES CENTRALES ELECTRIQUES

La tâche primordiale qui incombe au producteur d'électricité est de fournir de l'énergie électrique pour satisfaire la demande d'une charge qui est la somme de centaines de mille petites charges individuelles. Or ces dernières subissent des variations très diverses, telles que les habitudes des gens, la rotation de la Terre, les conditions météorologiques et autres situations prévisibles ou imprévisibles. La charge est généralement la plus basse pendant la nuit, s'accroît dans la matinée pour atteindre la crête à midi ou dans l'après-midi, et décroît pendant les heures du soir malgré un certain épaulement soutenu après le crépuscule dû à l'éclairage du soir. En fin de semaine, un grand nombre d'entreprises industrielles et commerciales reste fermé et la charge d'heure de pointe sera considérablement inférieure à celle de la semaine. Si la charge est dominée par les climatiseurs, elle sera caractérisée par des crêtes accentuées et dépendra fortement des conditions météorologiques.

La charge se caractérise surtout par trois paramètres: l'énergie électrique totale consommée annuellement ET, la charge de pointe totale annuelle ChP, et le rapport de ces deux paramètres, soit le facteur de charge FCh qui est sans dimensions et qui est défini comme suit:

$$FCh = ET/(ChP \times H)$$

H étant égal à 8760 heures par an. Ainsi, une charge uniforme a un coefficient de charge de 1,00, et plus la charge de pointe est élargie, plus la valeur du facteur de charge FCh est petite.

L'énergie électrique est fournie par plusieurs types d'équipement générateur que nous grouperons en deux catégories générales: d'une part, le groupe capable de satisfaire la "charge minimale de base" dont les coûts d'investissement sont plus élevés mais qui consomme du combustible moins cher et plus efficacement, et de l'autre, le groupe pour la "charge heure

de pointe" qui est relativement peu coûteux au départ, mais qui a tendence à consommer du combustible plus cher et moins efficacement. Les centrales nucléaires ou les turbines à vapeur chauffées au charbon sont des exemples de systèmes générateurs d'électricité pour la charge de base, alors que les turbines à combustible liquide ou à gaz sont plus appropriées pour les charges de pointe. A titre de simplification, nous nous bornerons à étudier un seul exemple de chaque type, à savoir une centrale activée au charbon et une autre activée par des turbines à gaz; en réalité, le nombre de systèmes et de choix est bien plus grand. Des paramètres divers caractérisent ces deux types de centrales qui sont représentés dans le tableau 1.

TABLEAU 1

CARACTERISTIQUES DE L'EQUIPEMENT GENERATEUR

DESIGNATION	SYMBOLE	CHARGE MINIMALE DE BASE TYPIQUE	VALEURS DE CHARGE DE POINTE	UNITES
Production charge de pointe	P	$\geq$100 000	$<$ 100 000	kWh
Energie annuelle	E	$>$7x108	$<$ 1.8x108	kWh/an
Facteur de charge	FCh	0.80	0.20	
Efficacité de conversion	Y	0.33	0.25	
Coût d'Investissement	K	1200	200	$/kW
par kW		420 000	70 000	F CFA/kW
Coût du combustible	CF	2.60	4.60	$/GJ
(charbon et pétrole, respectivement)		910	1610	F CFA/kW
Coût d'entretien	M	0.005	0.005	$/kWh
		1.75	1.75	F CFA/kWh
Facteur de nivellation (récupération des investissement)	R	0.28	0.28	1/an
Facteur de conversion de l'énergie	GK	0.0036	0.0036	GJ/kWh

L'efficacité de conversion Y est le rapport entre l'électricité produite annuellement (E) et l'équivalent en énergie de la teneur de matière chimique contenus dans le combustible brûlé. Les coûts par unité du combustible sont indiqués en dollars ou en F CFA/GJ (par milliard de joules) et le facteur de conversion GK pour convertir les $/GJ en $kWh. Pour une centrale ou un groupe de centrales et pour la charge entière d'électricité, E = PxHxFCh. Lorsqu'il faudra faire une distinction, le symbole ChB représente l'équipement pour charge minimale de base, et ChP indiquera l'équipement pour charge de pointe. Ainsi, E(ChB) est l'énergie totale produite par l'équipement de ChB, et P(ChP) est la puissance électrique que peut produire l'équipement de charge de pointe.

La récupération du capital est répartie sur une période allant jusqu'à trente ans sous forme de versements annuels, ceci en supposant que le producteur a fait un emprunt pour la dépense initiale, remboursable sur une période de temps qui correspond à la durée de vie de l'équipement. La valeur 0.28 est typique pour les producteurs d'électricité aux Etats-Unis et inclue le taux d'intérêt, le remboursement du prêt de capital, l'assurance, et le remboursement des emprunts faits lors de la construction. Nous en reparlerons dans au cours d'une autre séance. Pour le moment, il suffit de retenir que lorsqu'une pièce d'équipement coûte un capital K en $/kW, le prix propriétaire de la pièce sera RxK en $/kWh-an, et le coût de l'énergie sera de RxK(HxFCh) en $/kWh.

Ces valeurs étant déterminées, nous pouvons évaluer les frais opératoires annuels d'une pièce d'équipement, y compris le capital, le fuel et la maintenance, comme suit:

$$CT(E) = RxKxP + (CFxGK/Y + M)xE$$

où nous avons tenu à inclure la dépendence du coût total sur l'énergie utilisée annuellement E. Ainsi, le coût moyen unitaire de l'électricité provenant de cette pièce d'équipement est de:

$$CA = CT(E)/E = RxKxP/E + CFxGK/Y + M = RxK/(HxFCh) + CFxGK/Y + M.$$

Il en ressort clairement que le prix unitaire de l'électricité augmente au fur et à mesure que le facteur de charge d'une pièce d'équipement diminue. En substituant les valeurs indiquées dans le Tableau 1, nous obtenons:

$$CA(ChB) = \$(0.048 + 0.028 + 0.005)/kWh = \$0.081/kWh,$$
$$= (16.8 + 9.8 + 1.8)\ F\ CFA/kWh = 28.4\ F\ CFA/kWh.$$

$$CA(ChP) = \$(0.032 + 0.066 + 0.005)/kWh = \$0.103/kWh,$$
$$= (11.2 + 23.1 + 1.8)\ F\ CFA/kWh = 363.1\ F\ CFA/kWh,$$

de sorte que le coût moyen de l'énergie "de charge minimale de base" est inférieur de 20% à celui de l'énergie électrique "de pointe".

Jusqu'à présent, nous avons uniquement répondu à la question "quel est le coût moyen de l'énergie électrique produite par un groupe donné?", mais cela n'est pas suffisant, car il reste bien d'autres questions à poser. Supposons que l'équipement est mis en service mais qu'il ne fonctionne pas au maximum de la puissance énergétique qu'elle peut produire. Nous pouvons alors demander ce que coûterait la production d'une quantité supplémentaire d'énergie El et cela indiquera le coût au producteur lorsqu'une charge est ajoutée dans les circonstances que nous venons de décrire, ou quelles sont les économies réalisées quand la charge El est débranchée. La quantité que nous voulons déterminer ci-après sont les frais opératoires marginaux par pièce d'équipement en question et s'énonce en chiffres annuels comme suit:

$$MOC(El) = (C(E+El) - C(E))/El = CFxGK/Y + M =$$
$$= \$0.033/kWh = 11.6\ F\ CFA/kWh \text{ (charge minimale de base)}$$
et
$$= \$0.071/kWh = 24.9\ F\ CFA/kWh \text{ (charge de pointe).}$$

Il est à noter qu'aucun coût d'investissement de capital ne fut dépensé. Pour un système ayant une capacité excédentaire ou suffisante, l'énergie supplémentaire produite aux heures de pointe coûte plus de deux fois l'énergie produite par l'équipement pour charge de base.

Il serait aussi raisonnable de se demander quels sont les coûts d'une charge pour laquelle il n'existe pas encore de capacité. Cette quantité est plus compliquée et ne peut être bien définie dans le peu de temps disponible dans cette discussion, étant donné que la capacité à installer dépend de la nouvelle charge de pointe, alors que les autres coûts sont proportionnels à la puissance totale en question. Elle est déterminée en fonction de la différence totale des investissements et des frais opératoires de deux réseaux de production d'électricité optimisés, c'est à dire, ayant des coûts minimum: un réseau desservant la charge ordinaire et l'autre, desservant la charge accrue par la charge additionnelle dont nous

voulons déterminer les coûts (voir l'article de R. Bright et le mien dans la bibliographie). Ces résultats sont obtenus par moyen de longs programmes d'ordinateur qui simulent le fonctionnement et la croissance des producteurs d'électricité sur une période de temps considérable, allant jusqu'à trente ans (WASP ou PROMOD). Même sans faire appel à de tels efforts, plusieurs facteurs viennent indiquer que le coût marginal de cette nouvelle charge sera tout aussi élevé ou même plus élevé que celui de la charge minimale de base CA(ChB).

Tout d'abord, le coût comprendra un grand capital d'investissement; les taux d'intérêt étant en restant probablement élevés, le facteur de nivellement pour la récupération des investissements en équipement nouveau ne baissera pas dans le proche futur. Ensuite, la plupart des producteurs d'électricité ont construit trop de centrales activées par le pétrole (utilisé pour les charges de pointe) en raison des bas prix du pétrole en vigueur à l'époque où la construction était au stade de planification. Toute construction entreprise actuellement est vraisemblablement destinée pour les charges minimales de base; même les capitaux exigés pour les centrales pour charges minimales de base ont augmenté de façon vertigineuse bien au-delà des taux d'inflation. Le coût des centrales nucléaires est actuellement extrêmement élevé, tout au moins pour les pays industrialisés, et le coût des centrales activées par le charbon augmente également en raison des mesures de contrôle de la pollution requises. Et finalement, l'augmentation des prix du pétrole ont même entraîné l'augmentation des prix du charbon. Il est vrai que l'on enregistre temporairement une légère baisse ou stabilisation des prix du pétrole.

Ainsi, le coût de l'énergie électrique produite par la nouvelle installation est d'au moins $0.08/kWh (28F CFA/kWh), et celui du coût de la capacité nouvelle est de plusieurs centaines de dollars/kWh, les coûts de l'électricité de charge de pointe étant plus élevés de $0.04/kWh (14 F CFA/kWh) que ceux de charge d'heure creuse. Nous nous proposons d'examiner les charges desservies par les producteurs d'électricité qui pourront répondre aux questions: comment réduire la consommation et en réduire la croissance.

LES CHARGES DESSERVIES PAR LES PRODUCTEURS D'ELECTRICITE

Les charges auxquelles les producteurs d'électricité doivent répondre, peuvent être classées en deux secteurs d'utilisation, le secteur industriel d'une part, et le secteur commercial et résidentiel de l'autre. Les charges industrielles ont tendence à être uniformes et lourdes (les facteurs de charge étant élevés), en particulier dans les industries travaillant 24 heures par jour; un seul abonné peut appeler une puissance de l'ordre d'un MW. Les charges résidentielles et commerciales sont dominées par le conditionnement de l'air et l'éclairage, d'où des crêtes prononcées et des faibles facteurs de charge, car la demande est, en moyenne, très faible dans la nuit.

Le caractère varié de ces charges permet d'envisager plusieurs possibilités de mesures d'économies d'énergie. Le consommateur (que ce soit le résident chez soi, le directeur d'une petite entreprise, ou le directeur d'un grand immeuble ou d'une usine) utilise l'énergie inefficacement pour plusieurs raisons, en particulier:

(1) les économies réalisables annuellement sont faibles par rapport à l'investissement en équipement nécessaire pour obtenir l'efficacité énergétique;

(2) la tarification à l'adresse du consommateur ne représente pas les coûts véritables de l'électricité et le conduit en erreur;

(3) les économies réalisables annuellement en vaudraient bien la peine si le consommateur ne devait pas gaspiller son temps à faire des analyses et à constater l'état des choses;

(4) la facture annuelle totale d'électricité n'est pas suffisamment élevée pour attirer l'attention du consommateur;

(5) le consommateur ne comprend pas la situation (même si le point (3) n'est pas applicable); par conséquent, il ne changera pas ses habitudes consommatrices d'électricité.

D'autres raisons pourront sans doute être citées, mais nous nous arrêterons aux raisons sus-mentionnées. Le problème (1) peut être résolu en ayant recours à des méthodes pouvant réduire la consommation d'électricité ou la déplacer vers l' heure creuse à des coûts bien inférieurs à ceux de l'électricité produite par la capacité nouvelle (voir plus haut); Même lorsque le problème (1) a été résolu, il faut étudier les problèmes (2),

(3), (4), et (5).

Nous sommes en présence du problème (2) lorsque la tarification est telle qu'un gros consommateur d'électricité qui est la cause directe de l'achat de capacité nouvelle de réserve, ne paie qu'un prix arbitraire ou que la tarification ne distingue pas entre le tarif d'heure de pointe et celui d'heure creuse, alors que l'abonné est en mesure de déplacer son utilisation d'énergie de pointe vers l'heure creuse. Etant donné que le coût d'un équipement de comptage avancé est souvent considéré comme un obstacle venant s'entreposer entre une tarification adéquate, le problème (2) fera saillie surtout au niveau des petits consommateurs. La section suivante sur la tarification discute le problème (2) de façon plus détaillée.

Quant aux problèmes (3) et (5), ils peuvent être résolus si le producteur s'engage à une action directe, car le consommateur individuel résidentiel dont les ressources financières ne sont que modestes, n'aura pas les moyens analytiques qui pourraient guider ses habitudes de consommation d'énergie. Nous verrons plus loin que des bénéfices très positifs pourront être réalisés sans qu'on ait besoin d'imposer des mesures, en établissant une tarification qui soit mutuellement avantageuse au producteur et au consommateur. Les problèmes (3) et (4) se rencontrent surtout au niveau industriel où la direction s'intéresse peu aux mesures permettant une efficacité accrue des coûts, mais portent leur attention sur des projets au cash-flow le plus grand ou sur des projets qui sont intéressants du point de vue politique. Pour ces cas-là, l'action directe par le producteur est moins applicable, car la direction de telles usines devrait, en raison des grandes charges, de toute façon mettre en oeuvre des mesures d'économies d'énergie. Pour les secteurs industriels, il serait préférable d'essayer une combinaison de tarification, d'éducation, et de discussions avant que le producteur ne s'engage lui-même à diffuser des techniques d'économies d'énergie à ce type d'abonnés.

TARIFICATION

La fonction primaire de la tarification est évidemment de récupérer les dépenses opératoires annuelles de façon à ce que le producteur puisse payer ses factures de combustible et les salaires et puisse financer des constructions nouvelles. En outre, la tarification a une autre fonction non moins importante, à savoir celle de renseigner le consommateur sur le coût de l'électricité selon le type de charge qu'il impose au producteur.

Si le producteur d'électricité et ses abonnés formaient un seul groupe économique, il serait facile de comparer par example les coûts de l'éclairage à haute efficacité ou du stockage d'énergie avec ceux de l'extension de la capacité génératrice; il serait alors tout aussi facile de prendre des décisions rationnelles. Mais comme le producteur et l'abonné appartiennent à des groupes économiques différents, la prise de décisions est d'autant plus compliquée. Le producteur d'électricité décide de ce qu'il faut construire en se basant sur les demandes dans le passé et dans le futur (et sur d'autres facteurs, tels que la disponibilité des capitaux ou les contraintes de l'environnement), alors que le consommateur décide s'il veut ou ne veut pas économiser de l'énergie en se basant sur les tarifs établis par le producteur d'électricité. Si la tarification représente faussement les coûts occasionnés au producteur (ce qui est d'ailleurs le cas pour toute tarification), le consommateur aura des difficultés à prendre des décisions qui seraient optimales des points de vue mutuels du producteur et du consommateur.

Etablir une tarification qui reflète les coûts véritables au consommateur est une tâche difficile que nous ne pourrons pas traiter ici en détails (voir les références sur les livres de Kahn, Bonbright, et Caywood dans la bibliographie). Nous nous bornerons à présenter les principes sur lesquels le procédé de tarification est basé, à cerner plusieurs tarifications courantes, et à soupeser leurs mérites ou désavantages de façon générale.

En premier lieu il faut grouper les abonnés en plusieurs "classes" selon la taille. Ainsi on obtiendrait les classes suivantes: le résidentiel, le commercial, la petite industrie, et la grande industrie. Pour chacune de ces classes, on peut considérer une ou plusieurs tarifications (décrites plus loin). Mais avant d'aborder cette discussion de façon plus détaillée, je tiens à souligner l'importance qu'il faut donner à la formulation de tarifs différents pour les diverses classes; ces tarifs doivent être en proportion avec ce que coûte l'électricité fournie à ces classes différentes. Par exemple, si le secteur industriel paie un prix excessivement élevé pour l'électricité alors que le secteur résidentiel paie un prix trop bas (à la suite de pressions politiques), les consommateurs résidentiels auront peu d'intérêt à économiser de l'énergie, ce qui contraindra le producteur d'électricité à produire de façon peu économique; il est à noter que

le consommateur résidentiel paiera de toute façon pour cette électricité lorsqu'il fera l'achat du produit fabriqué. Inversement, si le secteur résidentiel paie un prix excessivement élevé pour l'électricité (par exemple, à la suite de pressions politiques), les industries auront peu d'intérêt à économiser de l'énergie et la déséconomie résultante au niveau de la production d'électricité coûtera ultérieurement bien plus aux deux classes. Le mécanisme d'approportionnement équitable des tarifs selon les classes est une question complexe qui a été traitée ci-dessus, mais sans l'avoir résolue complètement; il est d'importance primordiale que l'approportionnement soit fait très soigneusement, car, dans le cas contraire, des niveaux rentables d'économies d'énergie ne seront pas réalisés.

En marge de cette discussion, il faut mentionner que les subventions ne doivent pas être éliminées, mais doivent être énoncées clairement. Il se peut que le seul moyen de promouvoir l'électrification des zones rurales (ce qui est d'ailleurs communément considéré comme faisant partie intégrante de l'effort de développement), est d'offrir aux villageois, gratuitement ou à un prix minime symbolique, une quantité modeste d'électricité. Avant de conseiller l'octroi de ces subventions, il faut d'abord examiner chaque cas de près; je pense que si les résultats d'un tel examen sont favorables à l'utilisation de ces subventions, il est essentiel d'énoncer clairement dans le budget l'origine de la gratuité de l'électricité, en faisant mention de l'agence qui a octroyé la subvention, même si les intérêts politiques dicteraient d'autres options.

A l'intérieur même de chaque classe, des tarifs divers peuvent être offerts. Le plus simple qui n'est plus utilisé dans les pays industrialisés sauf dans des cas très particuliers comme l'éclairage des voies publiques, est simplement d'établir un tarif mensuel d'après le nombre d'ampoules électriques ou de prises de courant que l'abonné possède. Cela élimine le coût du comptage, mais encourage l'abus de l'utilisation d'électricité (en installant de l'équipement sans le signaler au producteur); cette méthode n'existe pratiquement plus. Il est à noter que ceci est un example parfait d'un système qui néglige d'informer l'abonné sur le coût de l'énergie qu'il consomme.

Un pareil système s'est avéré non-économique dans les grands ensembles résidentiels aux Etats-Unis. Dans ce dernier cas, le comptage est fait pour l'immeuble entier et non pas dans chaque appartement individuel, et la

facturation de la consommation se fait à des prix de gros; la facture est alors simplement divisée par le nombre d'appartements, ce qui veut dire que les petits consommateurs paient en partie pour les grands consommateurs. A vrai dire, une telle situation incite à utiliser plus d'électricité. Par contre, à la suite de la conversion dans un immeuble new-yorkais du système "un seul comptage de l'immeuble entier" en un système "sous-comptage dans appartements individuels", la consommation de l'électricité a baissé de 15 à 20%, car les abonnés individuels se sont sentis responsables de leur propre consommation.

Ainsi, il est peu surprenant que les consommateurs individuels aient pris l'habitude de payer des tarifs calculés d'après un compteur simple qui intègre la consommation totale du bâtiment. Le tarif consiste en un paiement mensuel fixe qui sert à couvrir le coût de la capacité nécessaire qui puisse répondre à la demande d'électricité de cet abonné, auquel viennent s'ajouter les frais de comptabilité occasionné par lui et, quelques fois, les premières unités de la consommation d'électricité; à ce chiffre sont ajoutés les frais d'électricité proportionnels à la consommation d'électricité par l'abonné durant ce mois-là. Il y avait même une époque aux Etats-Unis où le système de tarifs "dégressifs pour immeubles" était très bien accueilli; ce système de tarif se caractérisait par le fait que le montant de la facture que le consommateur devait payer diminuait à fur et à mesure que la consommation mensuelle de l'abonné augmentait. De nos jours, il est au contraire devenu coutume de considérer une tarification selon laquelle la facture d'électricité augmente avec la consommation, et même ce dernier système de tarification est en train de céder la place à un système où la facture du consommateur est à payer d'après un tarif énergétique constant.

Une tarification selon l'heure de la journée est utilisée aux Etats-Unis et en Europe qui renseigne l'abonné sur les différents coûts d'heure creuse et d'heure de pointe, mais ceci s'applique surtout au chauffage des espaces libres par l'électricité et n'a aucun intérêt pour l'Afrique. Seul dans le cas où se présente une demande résidentielle considérable en eau chaude ou de conditionnement de l'air central (voir la discussion sur le stockage d'eau froide), le comptage selon l'heure de la journée avec les tarifs correspondants, paraîtront intéressants aux abonnés résidentiels. Dans le Sud-Ouest des Etats-Unis, les charges qui étaient dominées par le

conditionnement de l'air ont pu être réduites de 7 à 16% en raison d'une retarification qui tient compte de l'heure de la journée (1); ces réductions de la consommation d'énergie ont été obtenues par des changements d'habitudes plutôt que par l'introduction de la technologie du stockage ou d'autres améliorations techniques.

Par contre, dans les secteurs commercial et industriel, le comptage selon l'heure de la journée et les tarifs s'appuyant sur les coûts au producteur d'électricité, c'est à dire la consommation d'heure de pointe et celle d'heure creuse, pourrait encourager la mise en place de diverses technologies au niveau de l'utilisateur d'électricité, l'objectif étant d'obtenir dans l'immédiat une réduction de la charge de pointe ou dans le futur une charge uniforme, ce qui serait préférable. Un example de technologie de ce type, le stockage de froid pour le conditionnement de l'air d'heure creuse sera discuté dans un autre article. Parmi d'autres possibilités il convient de citer le pompage d'eau d'irrigation tard dans la nuit (ce qui est d'ailleurs intéressant parce que réduit les pertes par évaporation); on peut également citer les déplacements de l'horaire (d'heure de pointe vers heure creuse) des procédés gros consommateurs d'électricité dans l'industrie en général et dans celle de l'alimentation en particulier.

La discussion ci-dessus s'était bornée au comptage selon l'heure de la journée; en utilisant de l'équipement de comptage légèrement plus complexe, la puissance maximale appelée pendant la période de facturation (ou pendant la période facturée en tranches "heure de pointe" et "heure creuse"), peut être mesurée et un "supplément de demande" peut être facturé en sus. De telles tarifications, quoique ne contenant pas la composante heure de la journée, existent couramment dans les secteurs industriels des pays industrialisés et sont déjà mises en oeuvre dans quelques pays en développement. Evidemment, en comparant cette tarification avec les tarifs fondés seulement sur le mesurage de l'énergie consommée, les frais de l'abonnement, ou les frais de l'unité d'énergie électrique, ou les deux, doivent être réduits, de façon que le total des frais pour un abonné "typique" reste inchangé. Mais maintenant, le gérant d'un grand immeuble peut examiner la facture et en déduire qu'une grande part des coûts de l'électricité provient de ce que les conditionnements de l'air, les réfrigérateurs, les pompes d'eau, etc. fonctionnent tous en même temps, et par là, créent une forte demande de puissance électrique. D'ailleurs, un commutateur installé à peu de frais

par rapport aux économies réalisées arrête le conditionnement de l'air lorsque que les pompes d'eau sont en marche. Des frais de "demande" ajoutés à la facture (tout en énonçant clairement le pourquoi de ces frais), inciteront fortement le directeur de l'immeuble à prendre des mesures appropriées. Le producteur d'électricité bénéficiera aussitôt de cette situation parce que d'une part les charges de pointe inefficaces sont moins nombreuses, et de l'autre, parce que la charge amoindrie permettra une plus grande fiabilité. (Nous venons de citer un example très simple; il existe pour les usines, les grands immeubles, etc., des systèmes de régulation des charges basés sur des micro-ordinateurs qui peuvent suivre simultanément un grand nombre de systèmes consommateurs divers.)

Lorsqu'une nouvelle tarification est envisagée, il faut considérer le coût du comptage. Le prix du compteur est de $50-100 (F CFA 17 500 - 35 000) pour un dispositif qui ne mesure que l'énergie et peut varier jusqu'à dix fois cette somme pour un compteur digital très avancé capable d'enregistrer également la puissance réactive et celle résistive ainsi que l'électricité utilisée selon l'heure de la journée. On peut affirmer que le progrès de l'électronique digitale fera rapidement baisser le prix des compteurs avancés. Il est vrai que pour le moment le comptage séparé de la "demande" au niveau résidentiel n'est pas tellement nécessaire en raison du prix du dispositif et des coûts de récupération des données surtout par rapport aux petits montants facturés dans le résidentiel, et que vraisemblablement les ménages individuels n'auront ni l'expertise ni la volonté de modifier leurs habitudes de consommation énergétique. Par contre on peut dire d'une façon empirique, que le comptage de la "demande" et celui des charges selon les heures de la journée seront économiquement intéressantes dans les secteurs commercial et industriel.

INTERVENTION DIRECTE DU PRODUCTEUR D'ELECTRICITE POUR OBTENIR DES ECONOMIES D'ENERGIE AU NIVEAU UTILISATEUR.

Nous avons cité plus haut cinq raisons qui pourraient expliquer le manque d'intérêt porté par les utilisateurs en matière d'économies d'énergie. La discussion sur la tarification que nous venons de présenter s'était centrée sur la raison (2); ainsi, nous avons suggéré que l'abonné doit être mieux renseigné pour qu'il puisse sciemment prendre des décisions qui sont raisonnables des points de vue du producteur et des autres abonnés. Les

trois dernières raisons venant faire obstacle aux efforts de conservation de l'énergie au niveau de l'utilisateur semblaient indiquer que ce n'est pas le manque de renseignements, mais le montant (relatif ou absolu) peu élevé des économies réalisables ou le manque de connaissances ou d'éducation qui en sont la cause. Plusieurs approches sont alors possibles. Pour résoudre le problème (5) traitant du manque d'éducation, la diffusion d'affiches ou de matériel d'éducation et de promotion peut éveiller la conscience chez le consommateur; si une telle campagne promotionnelle est conduite avec finesse et prend en considération les intérêts et les habitudes de l'utilisateur, elle permettra de réaliser d'excellents résultats.

Par contre, les problèmes (3) et (4) sont plus tenaces; en effet, la vie est courte et on ne peut pas importuner les consommateurs et leur demander de passer un temps démesurément long à ce qu'il ne considèrent qu'un menu problème; la seule raison pour laquelle le producteur d'électricité peut justifier la "perte de temps" de l'abonné est que le problème s'adresse à un grand nombre d'abonnés à la fois. Il y a pourtant un grand nombre d'idées de conservation qui sont intéressantes pour le producteur d'électricité et qui valent la peine d'être mises en action; nous examinerons de près la valeur des feuilles réfléchissantes en matière plastique qui aident à réduire les charges de pointe du conditionnement de l'air et les charges d'électricité en général lorsque ces feuilles sont installées sur les fenêtre orientées vers l'est et vers l'ouest. Pour de tels cas il faut citer une approche qui a obtenu un grand succès dans plusieurs régions des Etats-Unis et qui consiste à entreprendre et/ou à subventionner (complètement ou en partie) certaines mesures d'économies d'énergie sur les lieux même de l'abonné, même s'il aurait dû spontanément entreprendre lui-même de telles mesures qui auraient diminué sa consommation d'électricité; une réaction spontanée de la part du consommateur n'existe peut-être que dans un autre monde plus parfait que le nôtre. Il est essentiel que la tarification et les économies potentielles réalisables par le producteur soient telles que le montant des économies réalisées par le producteur est supérieur à la diminution de la facture d'électricité, afin de pouvoir payer pour les subventions et assurer un certain excédent en la faveur du producteur d'électricité qu'il pourra distribuer parmi ses autres abonnés.

Comment cela est-il possible? Le cas le plus souvent cité est celui de

la région du Nord-Ouest des Etats-Unis où la situation (qu'on peut ou ne peut pas retrouver dans d'autres parties du monde) ont permis: 1) de produire de l'électricité à un prix moyen avantageux, et en retombée, à un prix tout aussi avantageux pour le consommateur grâce à la considérable puissance hydro-électrique en existence; 2) les coûts marginaux totaux pour une nouvelle capacité génératrice étaient élevés, allant jusqu'au doublement des coûts moyens, car il ne restait plus de puissance hydro-électrique disponible pour la nouvelle capacité génératrice; il aurait fallu avoir recours aux centrales chauffée au charbon; 3) la charge qui était surtout constituée par le chauffage de l'espace dans les maisons à mauvaise isolation thermique pouvait être réduite (en ajoutant de l'isolation thermique) à un prix par kilowatt économisé qui était considérablement moindre que le coût total marginal de la nouvelle énergie, mais qui était approximativement le même que le prix que l'abonné voyait facturé.

Aussi, les consommateurs individuels étaient peu intéressés à isoler thermiquement leurs bâtiments; les économies seraient à peine perceptibles et discernables dans l'immédiat, et les clients préféraient passer leur temps à faire autre chose. Mais après que le producteur ait lui-même installé l'isolation thermique dans les maisons les moins isolées thermiquement, la charge provenant de tous les clients (y compris ceux auxquels qui n'ont pas été isolés thermiquement) était telle que la nécessité de construire la nouvelle capacité productrice qui aurait été requise pour répondre à la croissance normale de la charge a pu être éliminée, ce qui a résulté en d'importantes économies pour le producteur.

Je ne présenterai pas les détails économiques de l'example cité, car ces derniers ne sont pas applicables à l'Afrique de l'Ouest. Il est par contre très recommandable de faire usage de feuilles réfléchissantes montées sur les fenêtres côté ouest; dans un autre exposé, nous verrons comment la charge de pointe peut être réduite à un coût de $40-110/kW, ce qui est considérablement au-dessous du coût du capital d'investissement nécessité pour une nouvelle capacité génératrice. (Pour qu'une réduction de la charge de pointe puisse avoir lieu, la charge doit être constituée par le conditionnement de l'air et doit être réduite par des efforts de conservation de l'énergie; un déplacement d'une heure par example ne produirait qu'une légère réduction par rapport à l'ensemble du problème.) Etant donné que la plupart des producteurs d'électricité des pays en développement se

trouvent devant une situation de limite de la demande, toute mesure qui réduit les charges de pointe et qui remet à plus tard la construction d'une capacité génératrice nouvelle peut considérablement soulager les pressions financières du producteur.

Si une étude approfondie du cas indique qu'une réduction de la charge de pointe aura lieu en effet, le producteur d'électricité doit sérieusement considérer la distribution gratuite de ces feuilles réfléchissantes à ses abonnés. Il devrait ajouter des instructions de pose et expliquer les bénéfices que l'abonné réalisera si l'installation est effectuée (si l'abonné fournit lui-même la main d'oeuvre pour l'installation, les coûts se situeront vers la limite inférieure de $40/kW). Dans les situations où les abonnés manquent l'expertise technique récessaire, le producteur aurait intérêt à exécuter l'installation à ses frais; dans d'autrs cas, le producteur et l'abonné pourraient se partager les frais et bénéfices de cette mesure de conservation.

D'autres innovations techniques qui offrent de petites économies individuelles et ont pourtant un grand effet sur le producteur peuvent être considérées d'une façon semblable. J'espère avoir bien souligné qu'une analyse approfondie des options de conservation de l'énergie doit se faire des points de vue de tous les intéressés: les abonnés individuels, la société productrice d'électricité et sa direction, et l'ensemble des clients qui doivent en fin de compte payer la facture à celui qui leur fournit de l'électricité.

NOTA:

1) D.P. Lifson & A.K. Miedema, "A Comparative Analysis of Time of Use Electricity Rate Effects" (Analyse comparative des effets de l'heure d'utilisation de l'électricité), Energy-The International Journal, Vol. 6, p. 403, May 1981.

REFERENCES

1) Constantine W. Bary, "Operational Economics of Electric Utilities", Columbia University Press, New York, 1965.

2) J.C. Bonbright, "Principles of Electric Utility Rates", Columbia University Press, New York, 1969.

3) R.E. Caywood, "Electric Utility Rate Economics", McGraw-Hill, New York, 1972.

4) Alfred Kahn, "The Economics of Regulation: Principles and Institutions. Vols. 1&2, Economic Principles", James Wiley and Sons, New York, 1970.

5) The Solar Energy Research Institute (SERI), "A New Prosperity: Building a Sustainable Energy Future", Henry Kelly and Karl Gawell, study directors, Brick House Publishing, Andover Massachusetts, 1981, Chapter 4: Electric Utilities.

6) R. Bright and R. Leigh, "Photovoltaics and Electric Utilities", Brookhaven National Laboratory, Upton NY, 11973, 1981 and to be published.

4.3 EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LES SECTEURS DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE ET DE L'INDUSTRIE

H.N. Sharan

Un des objectifs les plus importants d'une politique énergétique nationale que les pays en développement et ceux industriels doivent viser, est sans aucun doute l'utilisation rationnelle des ressources d'énergie primaire. Les ressources d'hydrocarbures, en particulier le pétrole et le gaz naturel se font de moins en moins abondantes dans le monde, entraînant ainsi une montée des prix de l'énergie. Comme un grand nombre de pays manquent d'hydrocarbures de provenance locale, ce problème doit être résolu en obtenant un rendement et des économies d'énergie maximales, mais à des coûts suffisamment intéressants et à effets minimum sur l'écologie. Pour les pays industriels, il est impératif d'utiliser l'énergie plus efficacement et de bien l'économiser afin de dissiper les effets fâcheux qu'une montée des prix auraient sur leur standard de vie. Pour les pays en développement qui doivent non seulement faire face aux factures plus élevées, mais aussi à une balance des paiements défavorable, à un manque de capital et à une population croissante, il importe de maximaliser le rendement énergétique tout en ayant soin de ne pas freiner le développement économique du pays. Il s'agit de trouver des façons qui non seulement pourront "rallonger" l'énergie dans les secteurs industriels, agricoles, et les services municipaux et autres, mais aussi et surtout assurer au plus vite le remboursement des investissements importants qui ont été faits dans les secteurs producteurs d'électricité et énergétiques. Après tout, les investissements de capitaux dans ces secteurs et les factures d'énergie importée forment la plus grande part du budget de développement économique dans la plupart des pays en développement.

Le thème de ces séances d'études pratiques s'adresse en particulier à une des branches de la technologie d'énergie, à savoir les économies d'énergie. Il est vrai que l'effort économies d'énergie doit se faire sur plusieurs

échelons: ceux de la technologie, des investissements, et de politiques énergétiques. Cet article se propose donc de donner un aperçu général sur les façons d'utiliser l'énergie efficacement dans les centrales électriques, une des façons étant la co-génération d'énergie électrique et d'énergie thermique pour les procédés industriels. Des exemples d'économies d'énergie réalisables dans les systèmes de combustion, seront également donnés.

En premier lieu, les figures 1 à 5 montrent les problèmes de l'énergie dans le contexte des situations réelles existant dans les pays en développement; en même temps, ces figures montrent le contraste existant entre les questions énergétiques des pays en développement et ceux des pays industrialisés et mettent en relief le gaspillage d'énergie que l'ère de l'énergie bon marché a déclenché. Les figures 3, 4a et 4b représentent les concepts de planification intégrée.

La deuxième partie comprenant les figures 6 à 8 a rapport aux centrales thermiques et les tendances futures des technologies avancées aux Etats-Unis, au Japon, et en Allemagne Fédérale. L'effet des coûts d'investissement, du prix du fuel oil et des frais d'exploitation et de maintenance sur le prix de revient de l'électricité doit être examiné en tenant compte de la fiabilité de la centrale génératrice, de la disponibilité et des facteurs de charge de l'installation. Alors seulement on pourra déterminer si les technologies à haut rendement, certes complexes, sont applicables à un pays donné.

Les figures 9 à 14 de la 3ème partie présentent des exemples de co-génération d'électricité et de chaleur pour procédés industriels, permettant ainsi l'utilisation du combustible, à haut rendement, sans trop accroître le degré de complexité d'une installation. La "valeur d'un pourcent" est discutée dans ce contexte.

Le système de co-génération comprend une séquence de 4 cycles principaux comme suit:

- Cycle de Rankine avec combinaisons multiples.
- Cycle de Brayton pour turbines à gaz avec récupération de la chaleur rejetée en vue de son utilisation pour les procédés industriels.
- Cycles combinés (turbines à vapeur/turbines à gaz) avec récupération de la chaleur rejetée.
- Cycles d'Otto et de Diesel (moteurs à combustion interne) avec récupération de la chaleur rejetée.
- Combinaison de moteurs à combustion interne et de cycles de Rankine.

Il est possible d'avoir recours à plusieurs combinaisons et pour évaluer la combinaison qui convient le mieux pour chaque cas, il faut tenir compte de la disponibilité des sources de combustibles et de leur prix, de la quantité d'énergie exigée par le procédé industriel, ainsi que de la configuration locale des inter-connexions du réseau. L'expansion ou la rénovation d'installations existantes demandera vraisemblablement des solutions différentes de celles demandées par l'installation de centrales nouvelles où les systèmes d'énergie peuvent être optimisés et ajustés par eux-mêmes selon les paramètres des procédés, ou peuvent être optimisés dans le cadre de l'ensemble des procédés énergétiques, y compris les modifications des paramètres des procédés industriels.

Il faut ajouter que, lorsque l'approche "intégration" est adoptée pour l'obtention d'une industrialisation à haut rendement énergétique, il est non seulement nécessaire d'optimiser les procédés énergétiques, mais il faut également examiner le rôle actuel et futur tenu par les ressources d'énergie renouvelable. Ainsi, il est souvent économiquement plus intéressant d'installer le solaire de façon intégrée dans une usine nécessitant de la chaleur pour ses procédés industriels ou dans une installation à co-génération, que d'installer le solaire en solitaire, ce qui exigerait des coûts supplémentaires pour le stockage et les conduites. Dans une installation à co-génération, l'intégration peut avoir lieu verticalement et horizontalement, où les cycles du haut et du bas, les systèmes énergétiques supplémentaires, les cycles en cascade, et les inter-connexions de réseaux pouvent offrir une solution optimale et affûtée aux conditions locales.

Les installations à turbines à gaz ont la réputation d'être simples et à prix avantageux; elles sont également capables de démarrer et de répondre avec souplesse et rapidité aux exigeances posées par les fluctuations des charges. Par contre, elles ont le désavantage d'exiger du combustible purifié et d'opérer à bas rendement énergétique en cycle ouvert.

C'est la combinaison des cycles de vapeur et de gaz qui permet d'atteindre un haut rendement énergétique, étant donné que la température moyenne de la chaleur fournie au cycle peut être augmentée (ce qui n'est pas le cas pour le cycle de vapeur) et que la température moyenne de la chaleur rejetée peut être diminuée (ce qui n'est pas le cas pour le cycle ouvert des turbines à gaz).

Il existe de multiples possibilités de combinaisons génération d'électricité et production de chaleur pour procédés, par moyen de systèmes de récupération de la chaleur provenant du combustible brûlé ou non, par condensation, et à partir de turbines d'extraction/pression arrière. En ce qui concerne les limites posées par le combustible, il est possible, dans une certaine mesure, d'utiliser des fuels lourds pré-conditionnés; mais le charbon ne pourra être utilisé que lorsque les procédés de combustion en couches fluides et/ou gazéification du charbon seront disponibles dans l'industrie pour les turbines à gaz.

Les centrales électriques utilisant le cycle de Diesel présentent des avantages et des désavantages lorsque comparées avec celles actionnées par les turbines à gaz. Parmi les avantages des centrales à moteur Diesel, il faut citer la capabilité de brûler du fuel lourd de grade inférieur, ce qui nécessite moins de coûts de pré-conditionnement, moins de coûts pour la maintenance de l'opération des charges de base, et permet un meilleur rendement des charges maximales et partielles, ainsi qu'une haute fiabilité. Parmi les avantages des centrales à turbines à gaz il faut citer: une grande capacité, moins d'espace nécessaire, moins de dépenses initiales spécifiques, et la capabilité d'être intégrable dans des systèmes de gazéification

du charbon et de couches fluides sous pression. Dans l'ensemble et pour les petites unités, les installations au cycle Diesel de co-génération d'électricité et de chaleur pour des procédés peuvent, sur un plan technico-économique, se mesurer favorablement avec les installations à turbines à gaz. La chaleur rejetée se trouvant dans les gaz d'échappement et dans les systèmes de refroidissement de moteurs peut être utilisée pour produire de la chaleur pour procédés et peut, dans une certaine mesure, produire une quantité d'électricité supplémentaire égale à 8 - 10% de la charge maximale. Le bilan énergétique d'une grande centrale électrique au diesel à deux temps qui produit de l'électricité et de la vapeur sous pression moyenne pour procédés à partir d'une chaudière utilisant de la chaleur rejetée est présentée en même temps qu'un autre exemple d'installation à co-génération qui produit de l'électricité à partir d'une générateur au diesel et d'un générateur à turbine à vapeur provenant du cycle du bas, et fournit de la vapeur supplémentaire en provenance d'une chaudière utilisant la chaleur des déchets non brûlés.

La génération de "froid" dans une installation à co-génération qui produit de l'électricité pour procédés industriels sur place peut être réalisée de trois façons différentes:

(1) en utilisant de l'électricité cogénérée dans le cycle compression-absorbtion avec récupération de chaleur intégrée. Le profil de la génération d'électricité doit suivre de près l'énergie nécéssaire pour les procédés au froid ou, en l'occurrence, à la vapeur,

(2) en utilisant la chaleur rejetée pour faire activer une turbine à vapeur organique dans une installation de ORC pour actionner le compresseur d'une installation de réfrigération/stockage de froid.

(3) en utilisant de la chaleur rejetée pour actionner le cycle d'absorbtion de vapeur.

La possibilité de produire de la puissance motrice pour faire actionner un compresseur dans une installation de réfrigération est montrée pour plusieurs températures de la chaleur rejetée. La capacité réfrigératrice qui est générée à partir d'un tel système est également présentée, et un exemple montre l'organigramme et les données de système d'une usine à cycle d'absorbtion de vapeur qui est activé par la chaleur rejetée.

Les exemples donnés dans cet exposé indiquent clairement que la co-génération et l'accouplement des procédés thermiques présentent de remarquables avantages technico-économiques pour l'alimentation d'électricité et d'énergie pour procédés sous la forme désirée dans les usines. Il a aussi l'avantage de la familiarité étant donné que la plupart des installations à co-génération consistent surtout de systèmes et d'équipement bien éprouvés qu'il suffit de raccorder et d'ajuster aux conditions nouvelles. Des technologies nouvelles telles que les installations ORC ou des conceptions nouvelles de systèmes d'absorption de vapeur permettront d'étendre largement la gamme d'applications des installations à co-génération, mais comme les aspects techniques et économiques des installations à co-génération existantes sont bien connus, ils peuvent d'ore et déjà être appliqués dans les pays où l'industrialisation est encore peu développée. Dans ces pays, il n'est pas encore trop tard pour donner aux programmes énergétiques dans le cadre de la planification et d'industrialisation une ligne directrice axée sur l'efficacité des coûts. Cela vaut bien la peine de trouver les moyens qui permettront d'éviter quelques-uns des pièges posés par l'extrapolation linéaire ou répétée d'après le mode d'utilisation d'énergie des pays industrialisés durant l'époque où l'énergie était bon marché.

Il est vrai que d'après l'expérience acquise dans d'autres pays, la planification ou la mise en route d'une politique systématique et cohérente qui encouragerait et diffuserait largement la co-génération est bien plus difficile qu'une planification des centrales thermiques ordinaires. Il y a moins de facteurs interagissants dans les centrales thermiques que dans les installations à co-génération. Il existe un grand nombre de possibilités dont

il faudra faire le choix au stade de la conception et de l'étude des plans pour la centrale et pour déterminer quelle est la séquence en cascade qui assure une correspondance optimale et modifiable entre les divers niveaux d'énergie produits et l'énergie nécessaire pour les procédés. Or un tel nombre de possibilités exige un grand nombre de calculs pour l'analyse et l'optimisation des plans pour la centrale. Une étude préalable détaillée sur les liens avec le réseau distributeur doit également être entreprise car il faut tenir compte des fluctuations de la génération d'électricité dans les installations à co-génération afin que le courant allant vers et venant du réseau soit en unisson avec la charge d'utilisation et la stabilité du réseau lui-même.

La dernière section fait l'illustration de quelques exemples d'économies d'énergie. Les figures 15 à 16 présentent quelques situations propices aux économies d'énergie et donne des exemples de quelques résultats très intéressants du point de vue pécuniaire qui peuvent être obtenus en ayant recours à une bonne gestion énergétique et de maintenance "ménagère", ainsi qu'à la réadaptation à des fins d'économies d'énergie, des systèmes consommateurs d'énergie.

Les figures sont copiées sur la version anglaise.

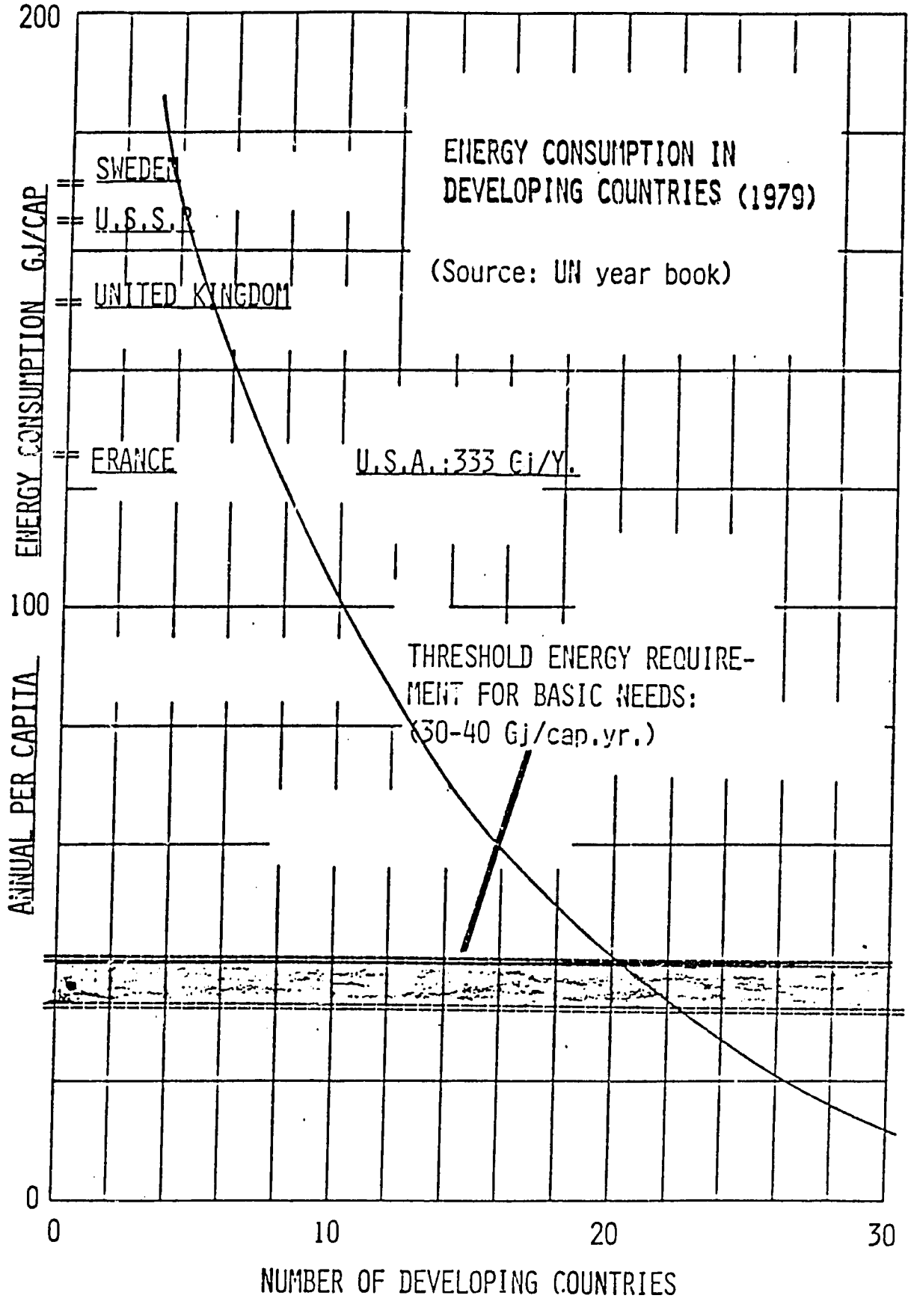

200
100
0
ANNUAL PER CAPITA ENERGY CONSUMPTION GJ/CAP
SWEDEN
U.S.S.R
UNITED KINGDOM
FRANCE
ENERGY CONSUMPTION IN DEVELOPING COUNTRIES (1979)
(Source: UN year book)
U.S.A.:333 Gj/Y.
THRESHOLD ENERGY REQUIREMENT FOR BASIC NEEDS:
(30-40 Gj/cap.yr.)
0
10
20
30
NUMBER OF DEVELOPING COUNTRIES

Figure 1

CONTRASTS

AVERAGE NUMBERS TELL ONLY HALF THE STORY

	WORLD	DEVELOPING COUNTRIES	INDUSTRIALIZED COUNTRIES
POPULATION DENSITY (Cap./km^2)			
Total	7,000	10,000	5,000
Urban	12,000	20,000	7,000
Rural	6,000	8,000	3,000
ENERGY CONSUMPTION (GJ/cap.yr)			
Total	68	18	144
Urban	144	108	180
Rural	29	14	72
		(Incl. non-comm.)	
POWER DENSITY (w/M^2)			
Total	15	5	25
Urban	50	70	40
Rural	5	4	7
		(Incl. non-comm.)	

Figure 2

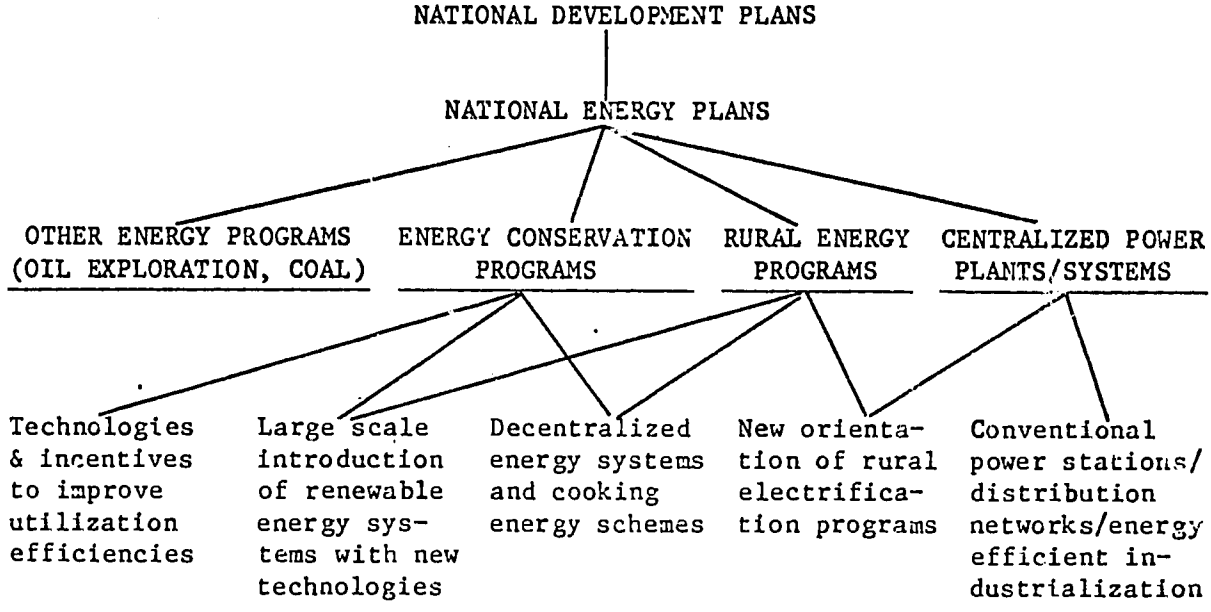


Figure 3

A. POWER PLANNING NOT ENOUGH: ENERGY PLANNING NEEDED

UNORGANIZED SECTORS NEED SPECIAL ATTENTION

SHORT TERM CRASH PROGRAMS

- Conserve/substitute firewood
- National cooking energy scheme
- Subsidized kerosene???
- Stoves/ovens/charcoal from agricultural wastes

- MEDIUM TERM POLICIES
  - Energy/fuel plantations: fast growing trees
  - Bio-mass technologies
  - Mini/micro hydro plants
  - Solar systems
  - Biogas plants
  - Decentralized rural energy schemes (based on locally available resources)
  - Energy conservation

- LONG-TERM POLICIES
  - Optimum mix of centralized and decentralized systems
  - Local, regional, and national matching of conventional and renewable energy resources (demand and supply)
  - Allocation of funds and priorities to develop renewable energy technologies
  - Energy efficient industrialization planning (power-heat/cold-coupling) (new processes)

B. ENERGY PLANNING MUST ENSURE:

- Compatibility of short-, medium-, and long-term policies and programs

- That long term national and local goals are not sacrificed for short term expediency

Figure 4

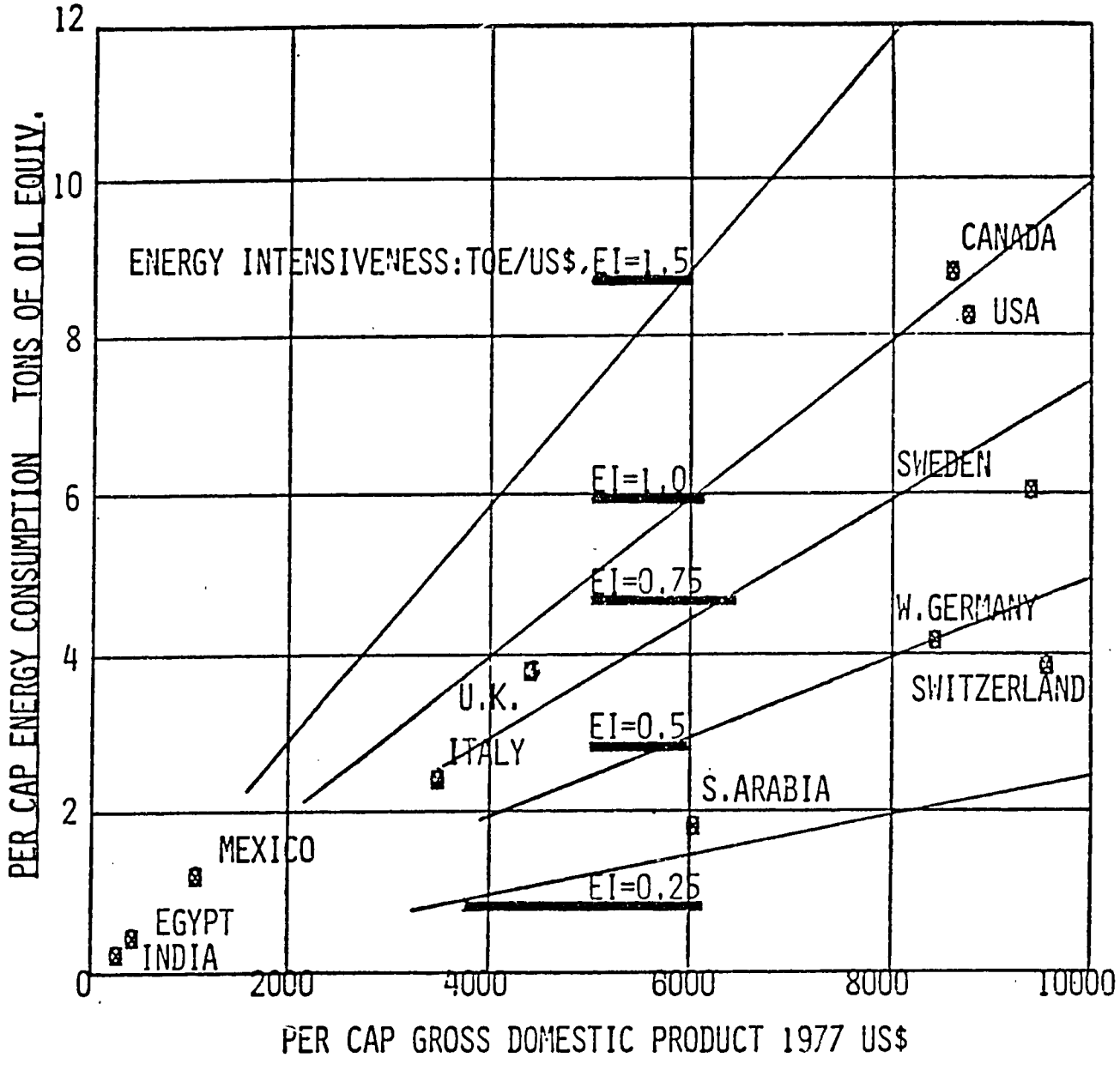
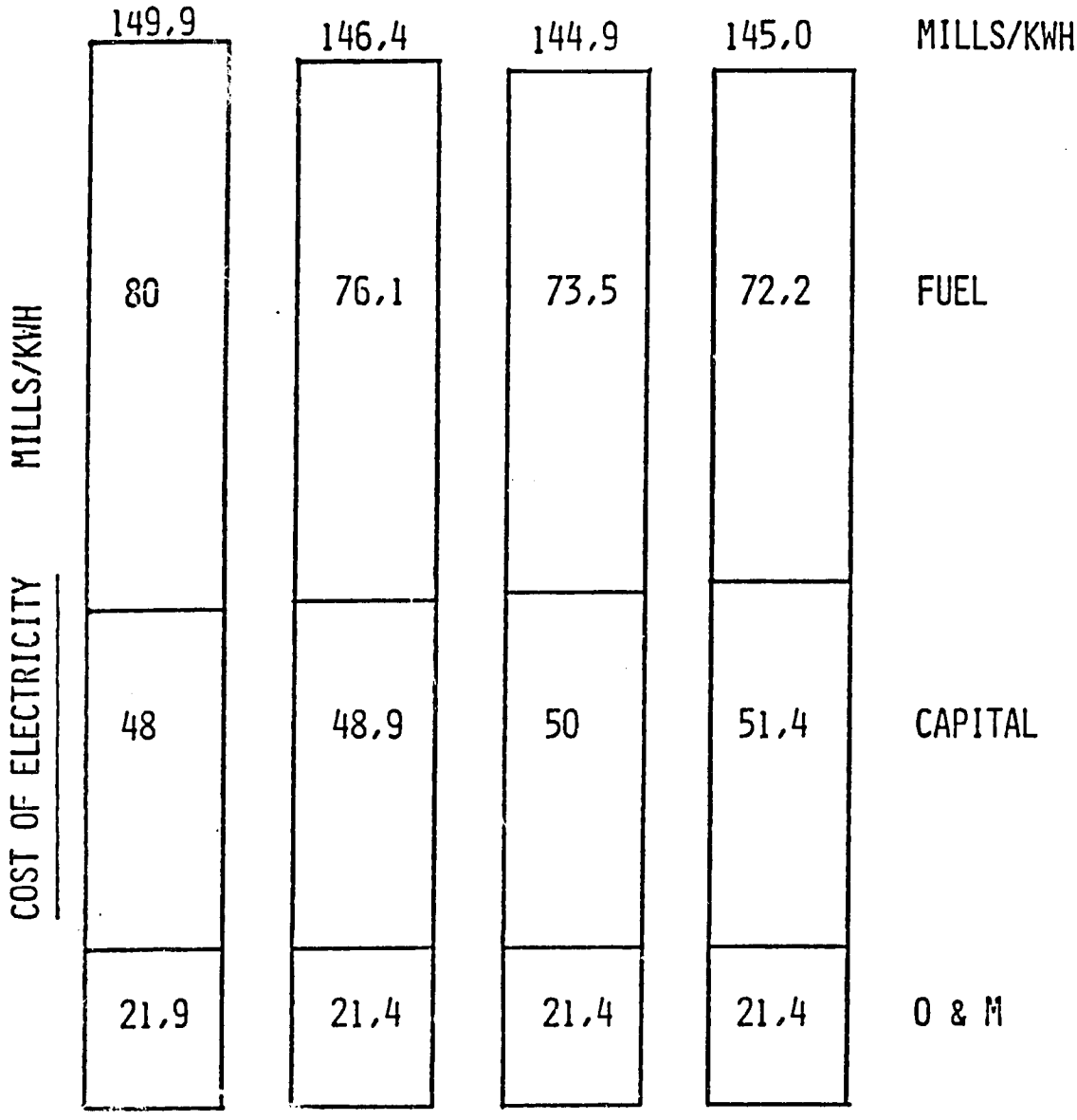


Figure 5. Energy Consumption and Energy Intensiveness
(Source: IEA Workshop, 1979)



LEVELISED BUSBAR ELECTRICITY COST (70 % PLF, 30 YRS., 1.9 $/KJ)

PL. NOTE

A 3 % LOWER PLF (67 % INSTEAD OF 70 %) FOR PLANT U II WILL EQUALIZE THE ELECTRICITY COSTS FOR STATIONS U I AND U II.

Figure 6. Electricity Costs for U.S. Stations

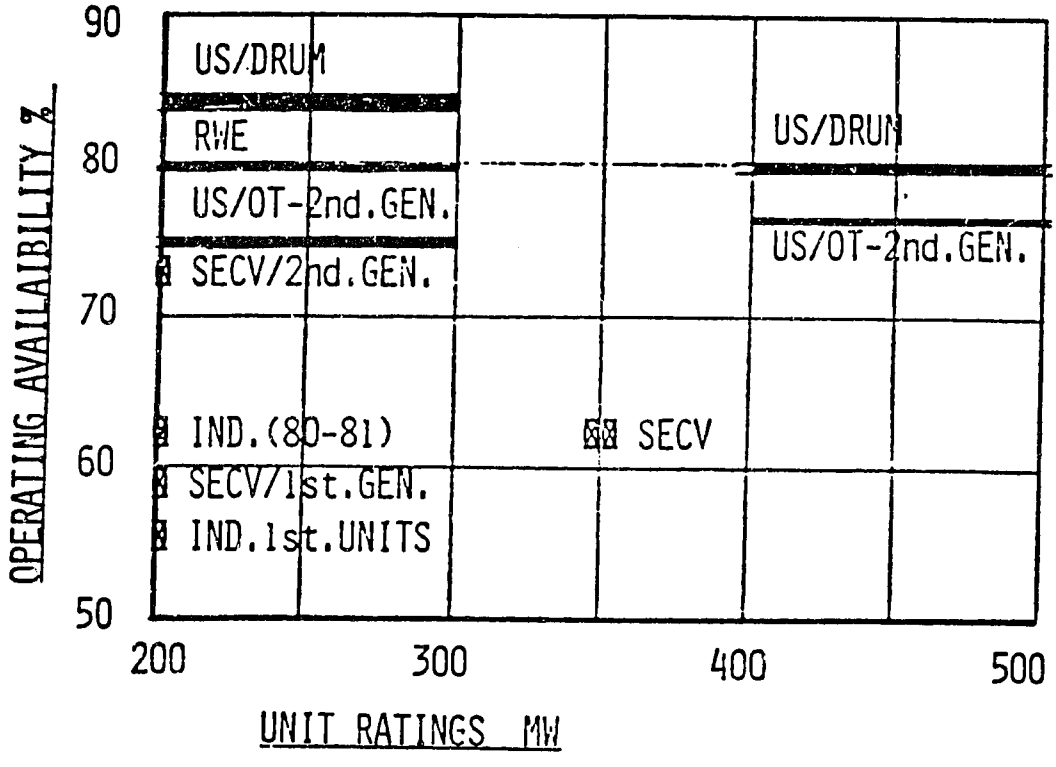

90
80
70
60
50
OPERATING AVAILAIBILITY %
US/DRUM
RWE
US/OT-2nd.GEN.
SECV/2nd.GEN.
IND.(80-81)
SECV/1st.GEN.
IND.1st.UNITS
SECV
US/DRUM
US/OT-2nd.GEN.
200
300
400
500
UNIT RATINGS MW

Figure 7

A SHIFTING TARGET: Who?
Where?
When?

CONTRASTING SITUATIONS: e.g., Japan vs a Developing Country

JAPAN: Fuel savings paramount

PRIORITIES

High Technology
New Processes, Advanced Cycles
New Equipment, New Materials
Energy Conservation: Bottoming Cycles

A DEVELOPING COUNTRY:

ACUTE SHORTAGE OF

- Capital
- Energy and power
- Adequately trained and experienced technical manpower
- Infrastructure base

RESULTING PRIORITIES

- Max. power generation per unit new investment (kWh not kW)
- Maximizing generation from existing units
- Energy/fuel savings with technologies which do not lead to loss of generation

Figure 8. Value of one percent

Economics of scale + higher efficiency to be balanced against

Availability
Plant load factor
Load pattern
Distribution losses
Efficiency gain via process-electricity coupling

Figure 9

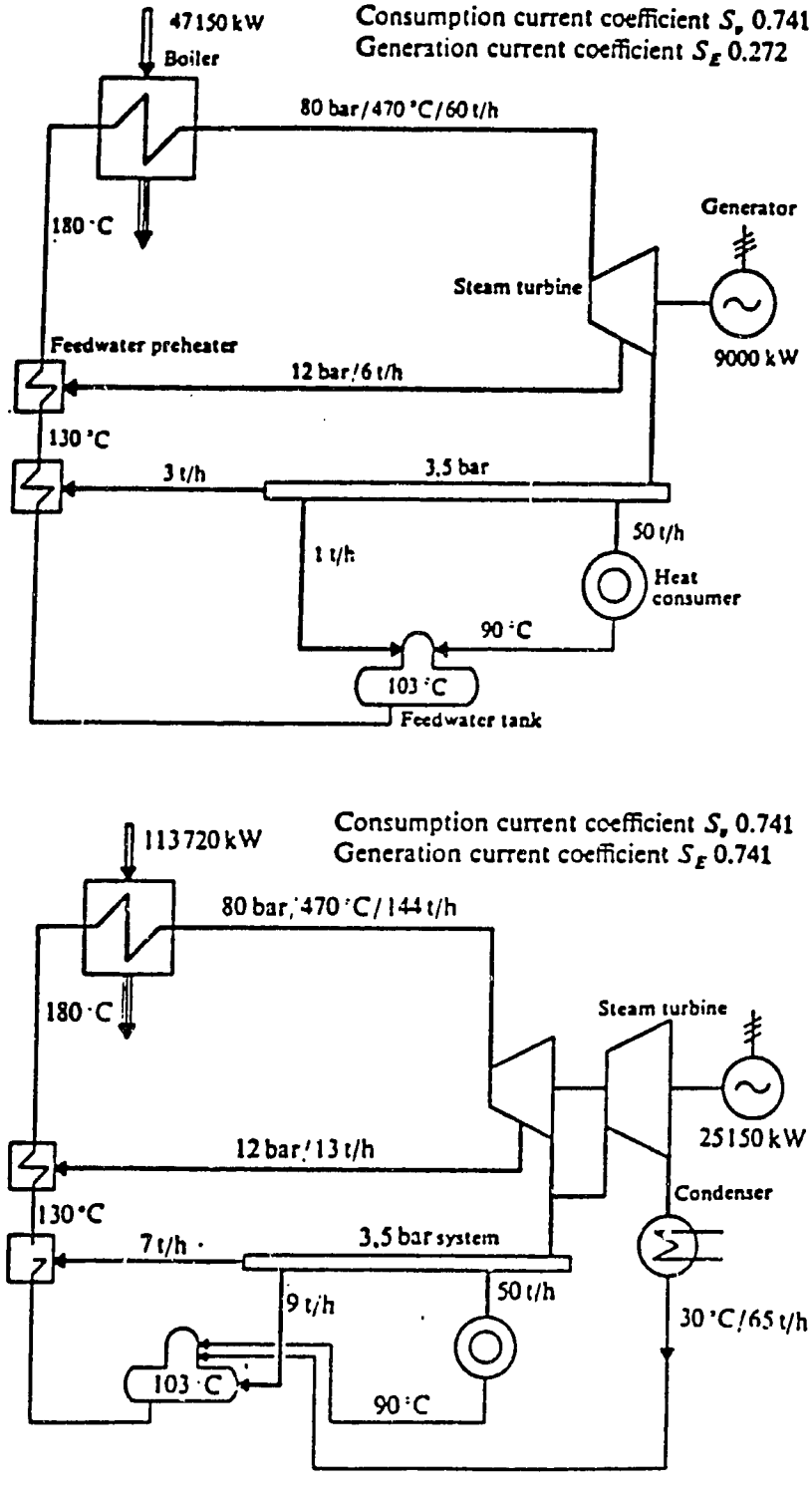
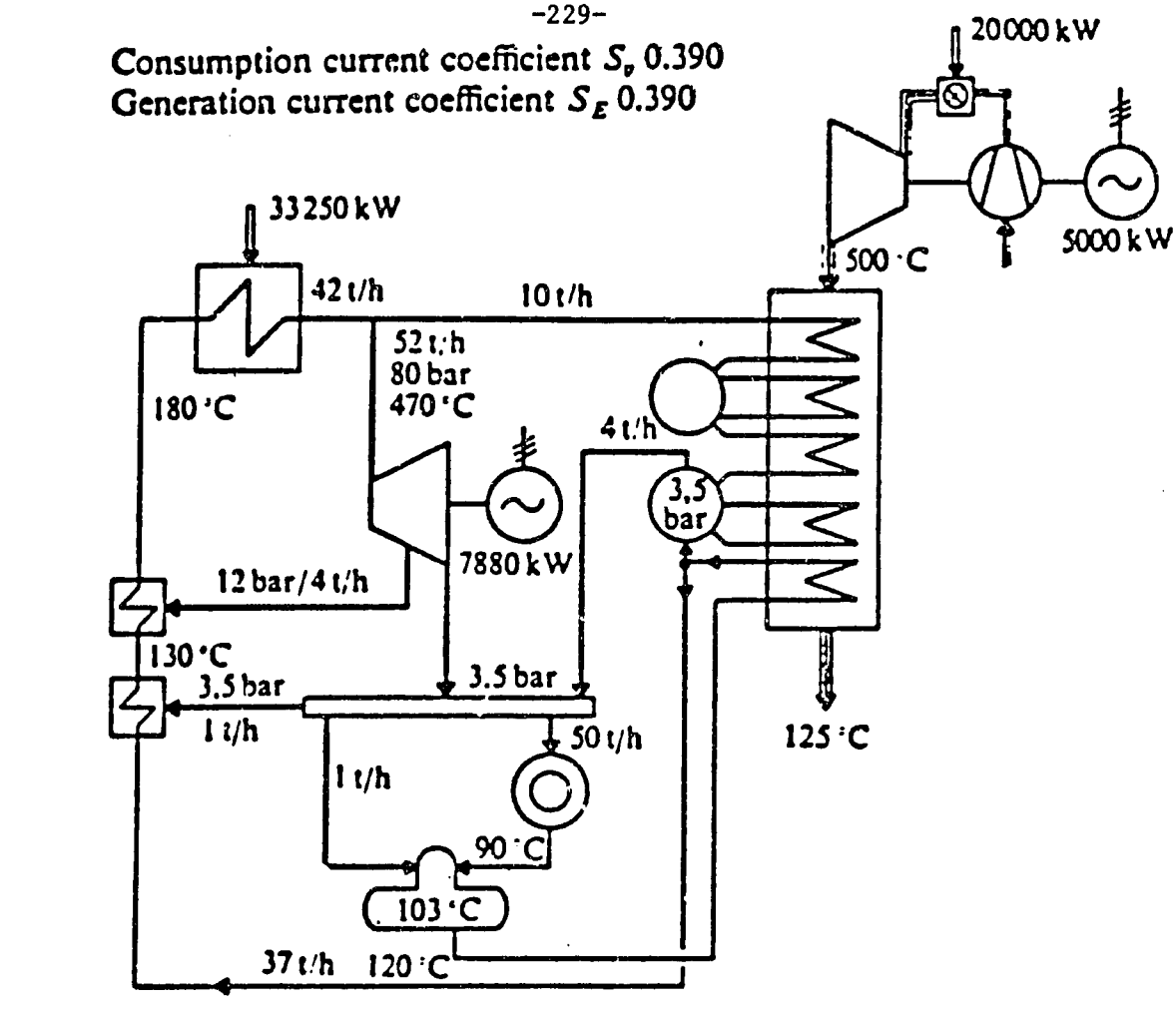


Figure 10. Examples of Process Heat Power Coupling with Steam Turbines



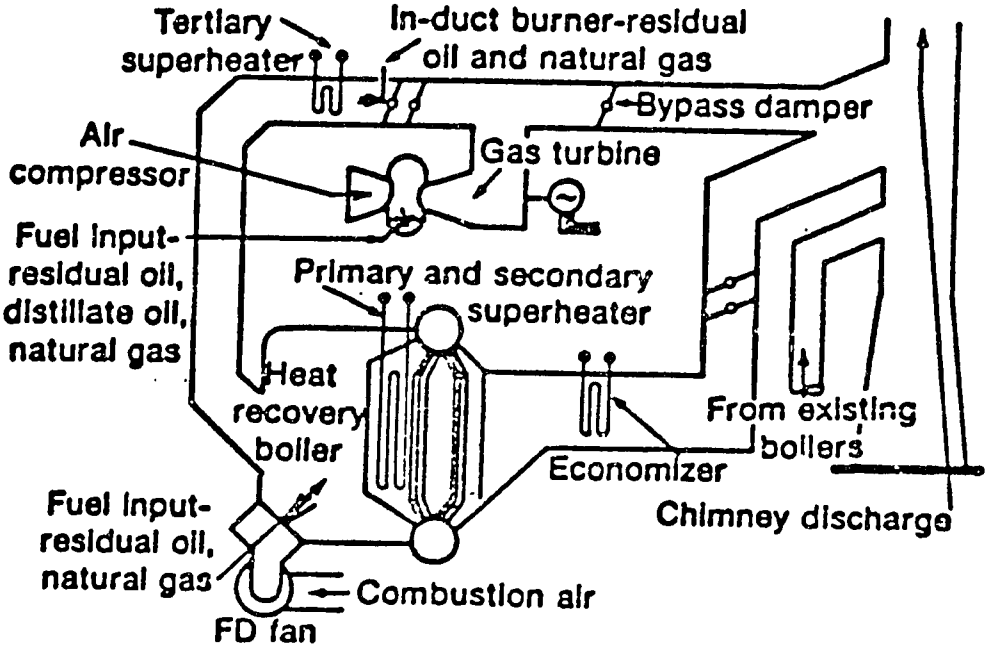


Figure 11. Examples of Un-fired and Fired GT/ST Combined Cycle Plants (with process heat generation)

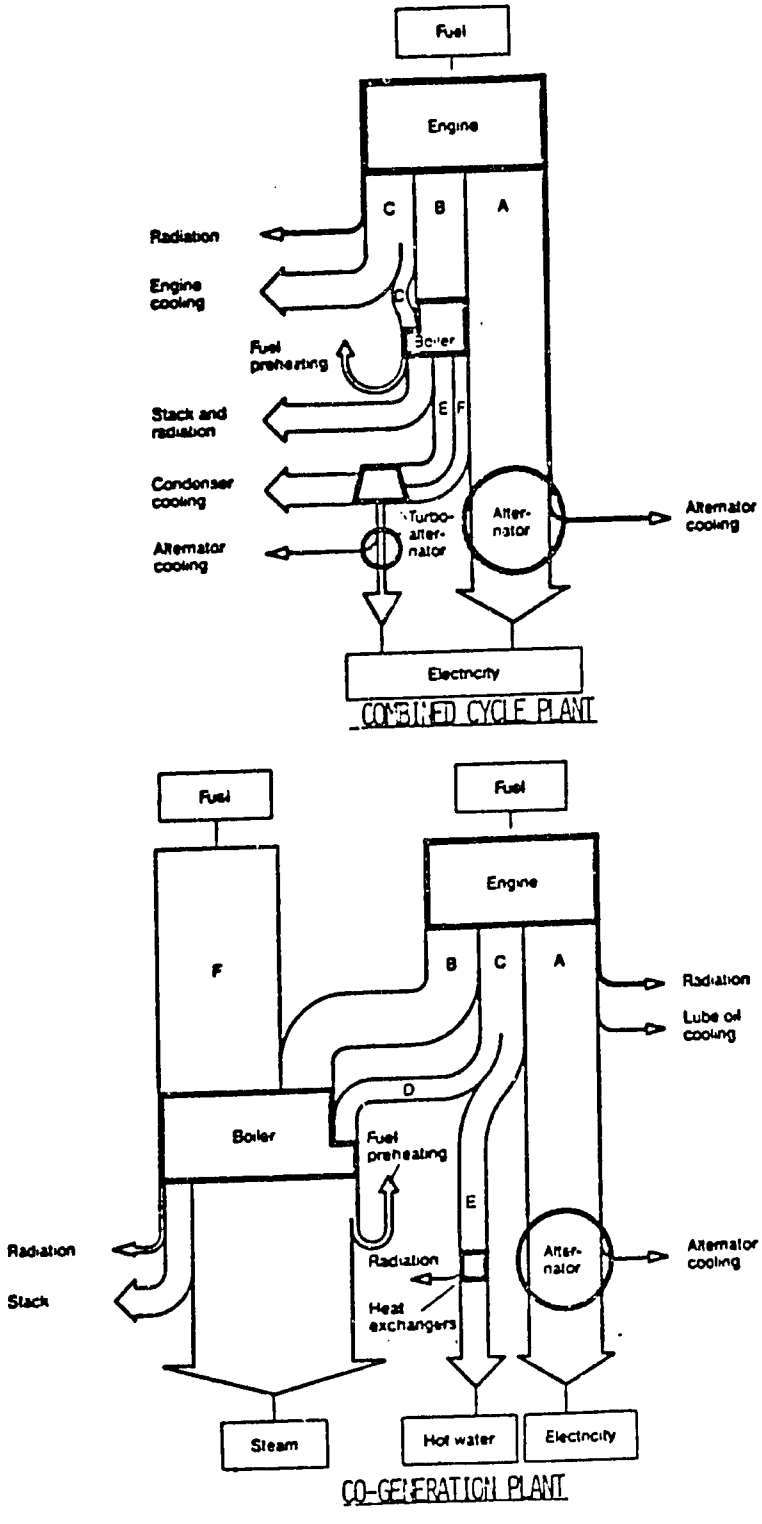


Figure 12. Waste Heat Utilization Systems for Diesel Generators

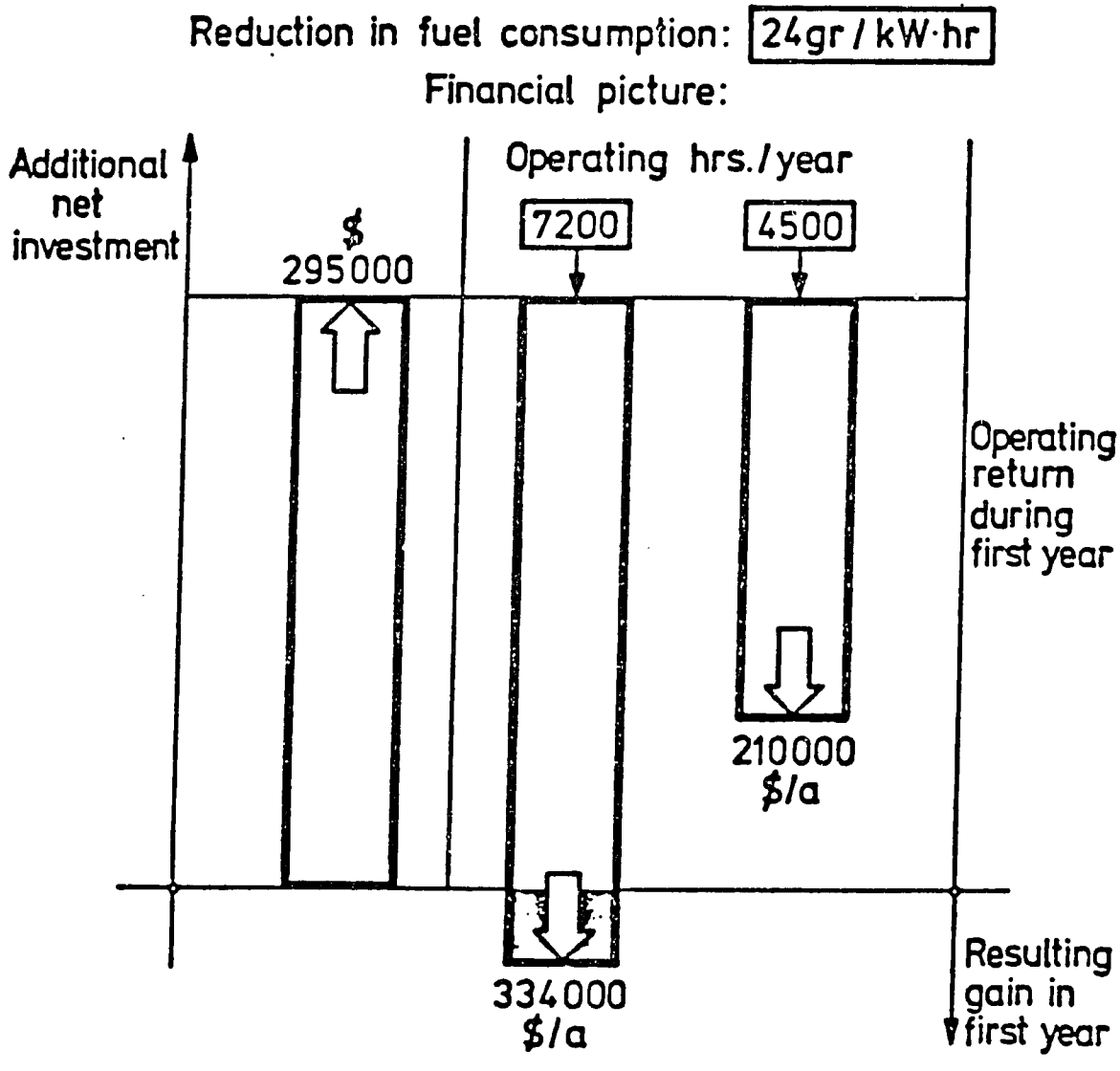


Figure 13. Economics of a Diesel Engine Plant with a WH-Steam Cycle (15,000 kW diesel/1500 kW steam turbine) (Source: Wolf/Steiger)

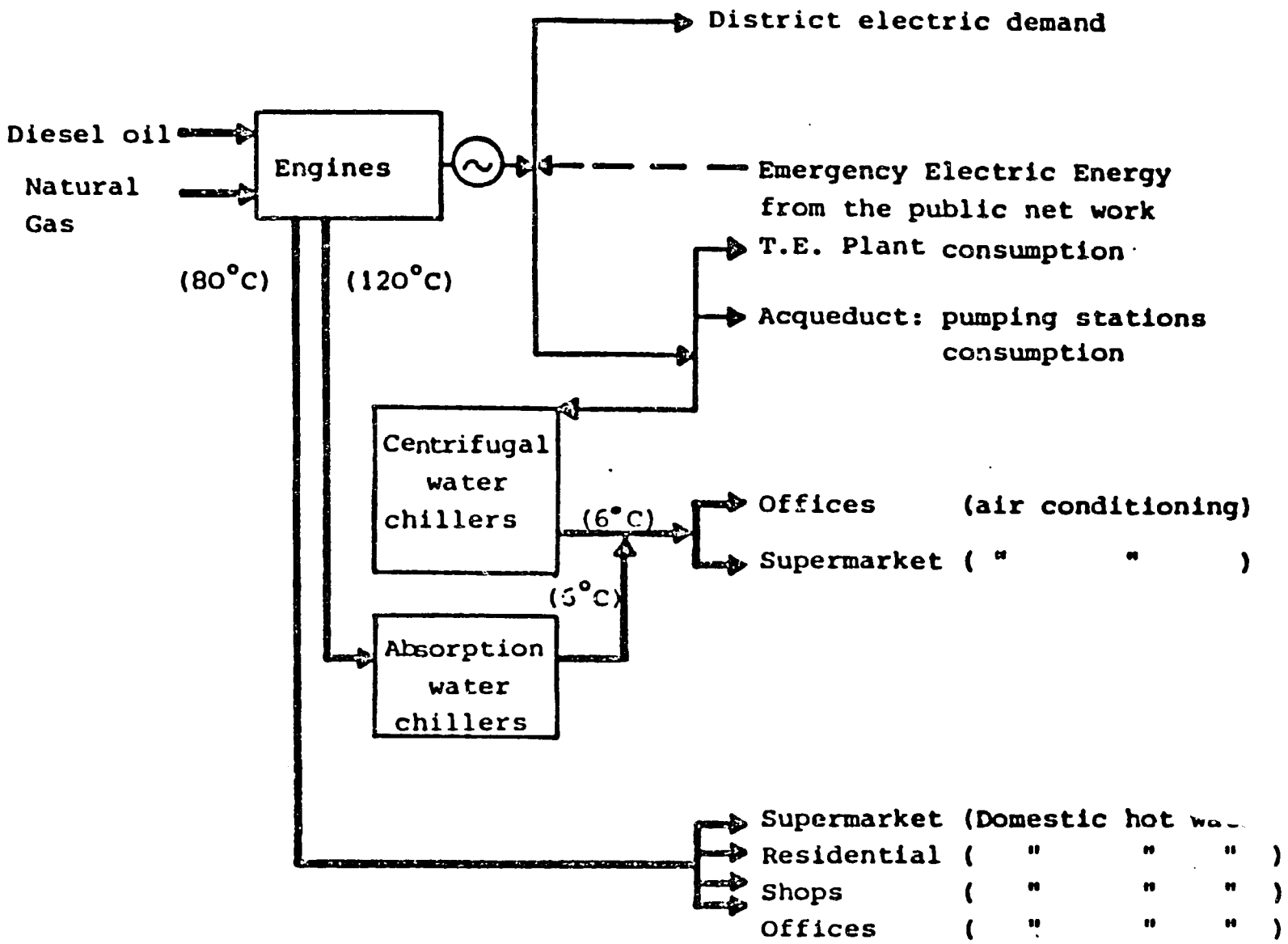
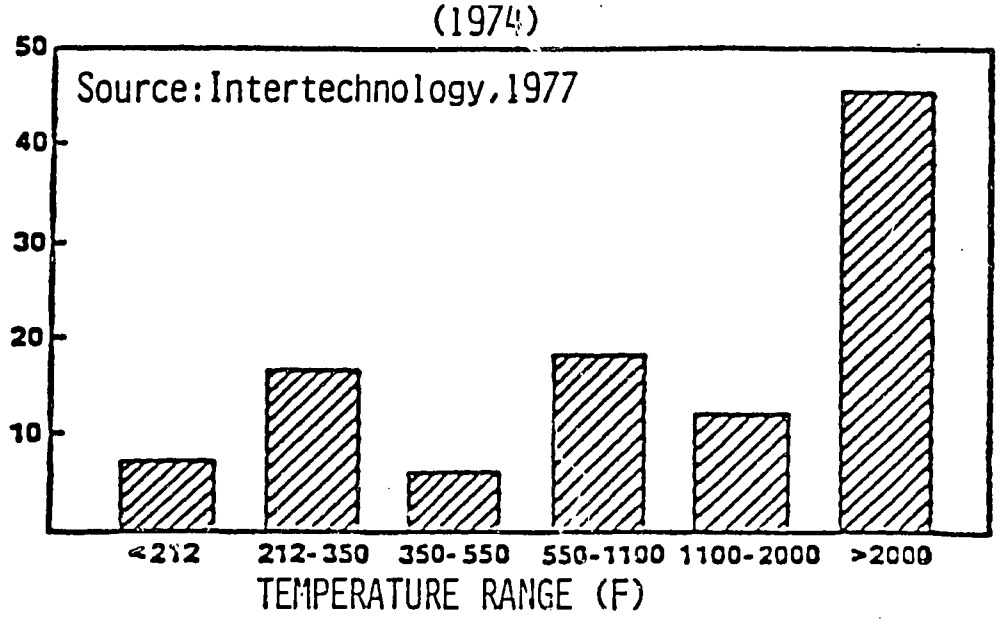


Figure 14. An Example of Process-Cold and Power Generation from Diesel Engine Plants

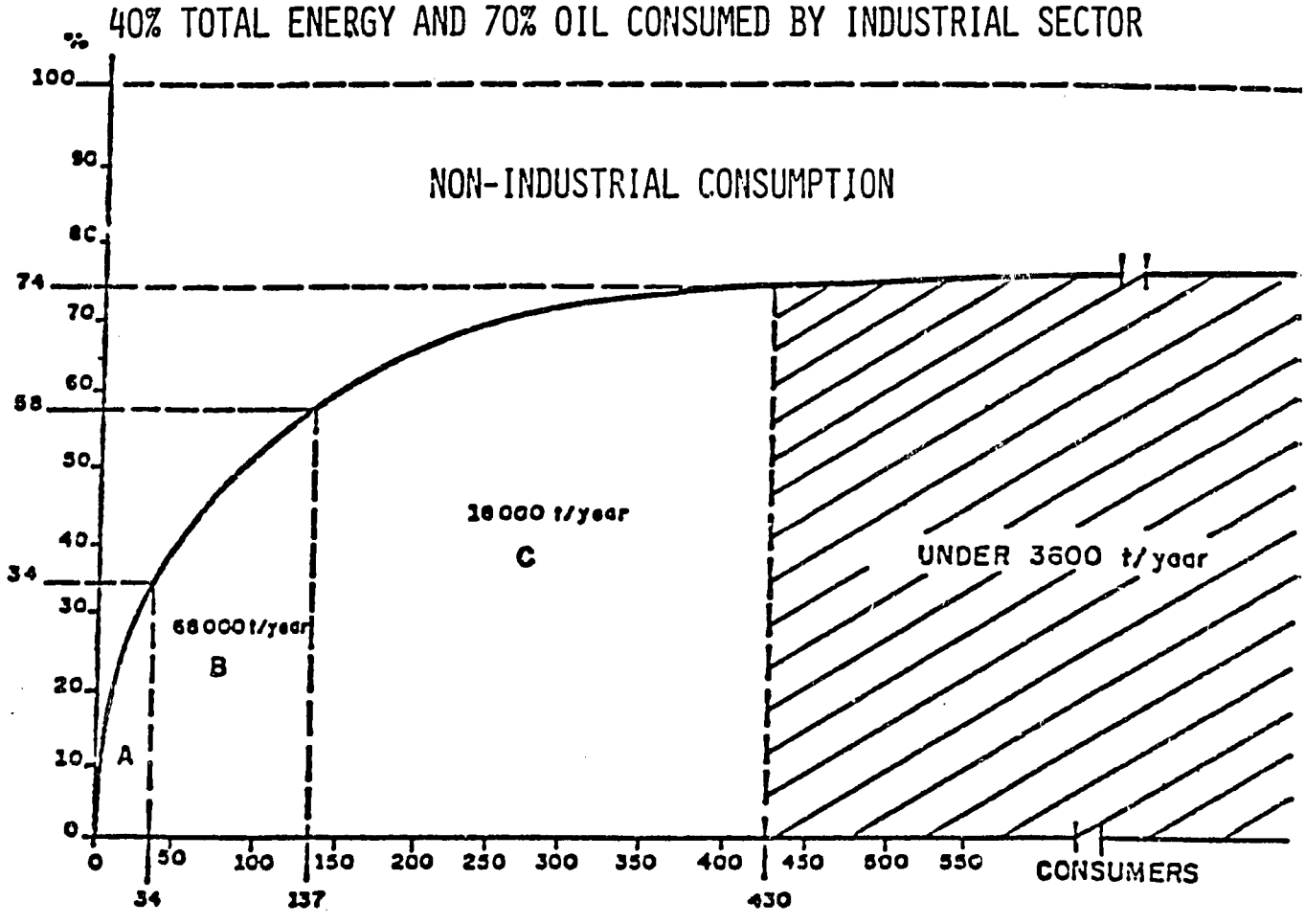


SOME TYPICAL DEVELOPING COUNTRY DATA ON INDUSTRIAL ENERGY CONSUMPTION

	CEMENT	STEEL	ALUMINUM
ENERGY CONS.	1.4 10^6 (wet) 0.9x10^6 (dry) (excl.grinding) Kcal/ton.	6-8 10^6(crude) 9-11 10^6(fin.) Kcal/ton	Reduction Alumina to Aluminum. 15-19 Mwh
ENERGY COST (% Total)	33	20-35	20-35

	AMMONIA	PULP/PAPER	PETROLIUM REFINING
ENERGY CONS.	8-11 10^6 Kcal/ton	5-11 10^6 Kcal/ton	Dist. 0.068 10^6 Cracking: 0.137 10^6 Kcal/ton
ENERGY COST (% TOTAL)	30-50	10-30	6-8

Figure 15. Industrial Process Heat Demand at Various Temperatures (Source: World Bank)



ENERGY SAVINGS SCHEME : 90% OF INVESTMENT AS LOAN AT 5% INTEREST RATE PAYABLE IN 5 YEARS WITH 1 YEAR GRACE PERIOD

RESULTS:

TILL DEC.1981,24% SAVINGS IN IRON & STEEL IND.
14% SAVINGS IN PULP & PAPER IND.
39% OIL REPLACEMENT IN CEMENT IND.

Figure 16. Industrial Energy Conservation Program, Brazil (Source: Monaco, 1982)

SECTION 5

LE SECTEUR DES BATIMENTS

5.1 QUESTIONS TECHNOLOGIQUES ET ECONOMIQUES DE L'UTILISATION D'ENERGIE DANS LES BATIMENTS

Richard B. Curtis et Jerome M. Weingart

Première Partie

Efficacité d'Energie et les Bâtiments en Afrique de l'Ouest

I. Introduction

Les courbes démographiques font entrevoir une croissance rapide des conglomérations d'Afrique de l'Ouest dans les prochaines décennies. Les bâtiments construits actuellement continueront à être utilisés le siècle suivant et la quantité d'électricité qu'ils consommeront sera une composante importante de l'économie de la région. Il existe des moyens qui permettront aux pays de la région d'obtenir une utilisation de l'énergie plus efficace au niveau des bâtiments si ceux-ci sont conçus de façon à fonctionner efficacement d'un point de vue énergétique; ceci soulagera la demande de capital et d'électricité (et sa distribution) dont d'autres secteurs de l'économie du pays pourront bénéficier.

Les bâtiments commerciaux sont parmi les plus grands utilisateurs d'électricité en Afrique de l'Ouest. Selon le Compte-rendu du Symposium CEDEAO de 1981 sur l'Energie (Académie Nationale des Sciences des E.-U., 1982),

> près de 40 pourcent de l'énergie produite dans la CEDEAO est utilisé pour le conditionnement de l'air, l'éclairage, et le chauffage de l'eau. La consommation pourrait être réduite en faisant appel à des meilleures conceptions architecturales et des matériaux de construction nouveaux.

Un seul immeuble de bureaux couvrant 25'000 mètres carrés exigerait typiquement de l'électricité à un taux moyen de plusieurs MWe. Dans plusieurs états de la CEDEAO, plusieurs de ces bâtiments pourraient bien consommer 5 à 10 pourcent de la capacité installée totale. Dans une région où la capacité installée totale est de l'ordre de 4000 MWe, l'augmentation rapide du nombre de bâtiments exigera une croissance tout aussi rapide de la production d'électricité, de sa transmission et sa distribution. Or, comme l'électricité est surtout produite dans les centrales à parcir de pétrole d'importation, les coûts occasionnés par la grosse consommation d'énergie par les bâtiments qui sont en même temps énergétiquement inefficaces, sont élevés. L'électricité ainsi consommée pour raisons d'inefficacité, est autant d'énergie manquante pour le secteur productif. En plus, la consommation excédentaire de fuel oil vient peser lourdement sur la balance des paiements. Ainsi, les économies d'énergie doivent être considérées comme étant une source d'approvisionnement de fuel oil dont les coûts sont marginaux et très petits par rapport aux fuels conventionnels ou à l'électricité; d'ailleurs, leur prix n'augmente pas au cours des années.

Previous Page Blank

L'expérience a suggéré que les bâtiments conçus et fonctionnant de façon énergétiquement efficace ont une courte période de récupération des dépenses qui est, dans certains cas, de quelques années. En plus, les bâtiments conçus pour fonctionner de façon énergétiquement efficace atteignent généralement des niveaux de confort qui sont au moins aussi élevés que ceux des bâtiments énergétiquement non-efficaces. Efficacité énergétique veut dire: faire plus avec moins, et non pas se priver.

2. Bâtiments Energétiquement Efficaces - Traditions et Préoccupations Actuelles

Dans le monde entier, certaines traditions locales et styles architecturaux ont été développés au cours de centaines et mêmes milliers d'années de civilisation. Ces styles ont généralement été développés par tâtonnements au fil du temps, aboutissant ainsi à des constructions qui utilisent des matériaux de provenance locale et à des techniques capables d'offrir abri et confort aux habitants. Il faut citer parmi ces techniques, des matériaux de construction massifs dans les régions chaudes et sèches pour modérer les grands écarts de température entre nuit et jour. Dans les régions humides et tropicales, l'architecture locale est spécialement conçue pour capter les souffles du vent et protéger le bâtiment du soleil direct.

En général, ces techniques "du pays" ont été développées pour les constructions résidentielles et quelques édifices publics. Les grands immeubles de bureaux contemporains sont une création du vingtième siècle issue d'Europe et des Etats-Unis. Ces bâtiments étaient conçus pour les climats tempérés et froids. Dès les années 1950, un grand nombre de bâtiments de ce type ont été construits dans des régions où le climat et les cultures diffèrent grandement de l'environnement où ils furent créés. Il en a souvent résulté des bâtiments peu compatibles avec le climat chaud et aride d'une part ou tropical de l'autre; et pour "surmonter" cette incompatibilité, on a eu recours au conditionnement de l'air de façon massive.

Dans la décennie précédente, on a assisté à la croissance d'un mouvement architectural mondial qui était devenu conscient de l'environnement et a fait renaître, sous des formes et des techniques contemporaines, plusieurs principes de construction traditionnels et "du pays". Plutôt que d'adopter ces pratiques traditionnelles de façon littérale pour les constructions nouvelles, l'approche a été d'incorporer ces techniques architecturales énergétiquement efficaces et compatibles avec le climat dans la construction de nouveaux bâtiments. Ainsi furent édifiés des bâtiments qui non seulement utilisent l'énergie efficacement et sont très confortables pour leurs occupants, mais sont aussi très agréables à l'oeil et peu monotones quand on y travaille.

3. Mise en place de Politiques Nationales de Construction de Bâtiments utilisant l'Energie Efficacement

Il n'existe pas de règlementation nationale ou régionale complète capable d'assurer une conception et une construction de bâtiments énergétiquement efficace. L'un des auteurs (J.M.W.) a fait partie de l'équipe chargée de formuler une règlementation complète pour la Californie en 1972 qui servirait de ligne directrice et fixerait les normes à suivre en matière de performance énergétique des bâtiments commerciaux (non-résidentiels) de

l'état de Californie. Il a fallu plusieurs années de travail assidu de la part des comités divers comprenant des architectes, ingénieurs, entrepreneurs de construction, fournisseurs d'équipement, de fonctionnaires du code de construction, et autres experts pour arriver à formuler une approche qui soit plus ou moins réalisable. A vrai dire, le processus de formulation était plutôt turbulant. Il ne faut pas croire que le processus de formulation d'une telle politique soit plus simple dans d'autres pays.

Il faut ajouter que la situation économique qui exigeait l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments existants et la conception de bâtiments nouveaux utilisant l'énergie plus efficacement, a eu des effets sur la Californie, sur d'autres régions des Etats Unis et de plus en plus sur d'autre régions du monde. Plusieurs éléments-clef ont permis d'atteindre une efficacité énergétique accrue dans les bâtiments nouvellement construits ou existants, dont les suivants:

* Encouragements économiques à l'intention des propriétaires et gérants de bâtiments pour l'obtention d'une meilleure efficacité énergétique.

* Disponibilité d'outils de conception architecturale et de procédés de calculs pratiques à l'usage des architectes et des ingénieurs.

* Disponibilité de moyens efficaces par lesquels les inspecteurs du code de construction pourront s'assurer que les conceptions architecturales et procédures opératoires soient conformes aux normes proposées. (Si les lois sont telles qu'elles ne peuvent pas être maintenues, elles ne seront pas observées par le public. Il s'agit là d'une question de bon sens, or ce même bon sens règne dans d'autres parties du monde.)

4. Obstacles à la Mise en Application de l'Efficacité Energétique dans les Bâtiments

La mise en application des principes d'efficacité énergétique au niveau de la conception et de l'opération des bâtiments vient trop souvent se heurter à un nombre d'obstacles. Ceux-ci doivent être résolus si l'on veut mettre en application un programme d'efficacité énergétique qui fonctionne bien. Quelques questions d'ordre institutionnel sont énoncées comme suit:

* Les propriétaires font rarement l'expérience concrête de leurs propres bâtiments. Ainsi, ils sont peu soucieux des frais opératoires, contrairement à ce qu'on pourrait croire, d'autant plus que ces coûts sont généralement récupérables par les recettes des loyers.

* Les dépenses initiales ont tendence à être plus élevées que les coûts durant la vie opérationnelle du bâtiment, ce qui est le cas même pour les bâtiments qui n'ont pas changé de propriétaire (y compris le gouvernement).

* Dans certaines régions on trouve peu d'expérience ou d'outils suffisants pour la conception architecturale, et les professionnels en la matière n'ont pas les moyens financiers nécessaires pour acquérir une expertise en efficacité énergétique.

* Insuffisance de politique gouvernementale qui puisse donner des direc-

tives sur l'efficacité énergétique.

* Manque d'encouragements économiques pour inciter les constructeurs et les architectes à développer des bâtiments énergétiquement efficaces, même si cela est nettement dans l'intérêt du pays.

Un problème central est celui de la formulation d'une politique nationale qui traduise le besoin d'efficacité énergétique au niveau national en des impératifs économiques au niveau du constructeur, architecte, propriétaire, et techniciens du bâtiment. Pour résoudre ce problème, on peut avoir recours aux moyens suivants:

* A Singapour, les propriétaires de bâtiments sont obligés à occuper une partie importante du bâtiment pendant plusieurs années avant de devenir propriétaire "in absentia". Et comme le propriétaire doit payer lui-même les frais opératoires, il se rend compte concrêtement de l'efficacité de l'utilisation énergétique et du confort du bâtiment.

* Les politiques d'investissement tels que les taux d'intérêts sur emprunts bâtiments et les allègements fiscaux favorisant l'efficacité énergétique devraient être mis dans le contexte du cycle de vie, plutôt que dans celui des dépenses initiales. Pour que l'efficacité énergétique soit adoptée au large, il faut que l'investisseur, lui aussi, ressente le besoin d'efficacité énergétique.

* Précédemment, les architectes n'ont généralement pas pris l'économie d'énergie et l'efficacité énergétique en considération. Il faudrait doter les architects, ingénieurs, et techniciens de l'immeuble d'une formation en économie d'énergie. Une partie de la formation devrait consister à mettre à la disposition des professionnels chargés de l'architecture et de la construction, des manuels et guides se rapportant au site de construction.

5. Développement d'un Manuel d'Etude Architecturale pour Bâtiments Energétiquement Efficaces pour l'Afrique de l'Ouest

Alors que l'étude architecturale de bâtiments énergétiquement efficaces peut être faite d'après les règles empiriques, de meilleurs résultats peuvent être obtenus en faisant une étude assistée par ordinateur (CAO). Mais on se heurte au fait que la plupart des architectes et ingénieurs de tous les pays, sont peu familiarisés avec l'ordinateur en tant qu'outil d'étude architecturale. Par contre, il existe un grand nombre de manuels et de guides d'instruction contenant des procédés de calculs (y compris des nomogrammes ou des méthodes graphiques faciles à utiliser) pour le dimensionnement de l'équipement de conditionnement de l'air, l'optimisation des surfaces vitrées et leur orientation par rapport au soleil, la détermination de l'utilisation de matériaux calorifuges efficaces, etc. Ainsi, de tels manuels et guides pourraient sous peu trouver un grand nombre d'adeptes.

Le développement d'une série de manuels d'étude architecturale adaptés pour les principales zones climatiques de la région à l'usage des architectes, des ingénieurs, et des techniciens de l'immeuble serait une contribution importante à l'effort de conservation de l'énergie au niveau des bâtiments en Afrique de l'Ouest. Ces manuels seraient arrangés de façon à être

directement utilisables par ces professionnels. Mais le développement de tels manuels ne pourrait se faire qu'à l'ordinateur utilisant le programme DOE-2 et avec l'information collectée d'heure en heure sur la température, l'humidité, l'ensoleillement, etc. des régions intéressées.

Un tel manuel pourrait être développé dans le cadre d'une institution d'Afrique de l'Ouest avec la participation de professionnels des divers pays membres de la CEDEAO. En concertation avec des experts en design architectural qui ont développé et utilisé les outils d'informatique, il serait possible de mettre en oeuvre ces programmes, de former le personnel qui les utilisera, et de développer une série de manuels qui seraient mis à jour périodiquement et ajustés d'après l'expérience acquise lors des constructions locales.

Une activité importante est celle de mise en place d'une base de données sur le climat à partir d'information enregistrée, et en cas de nécessité, à partir de mesures prises sur le site. Les bâtiments conçus et opérés d'après ces manuels pourraient être étudiés pour comparer les performances énergétiques prévues et celles mesurées. De telles études comparatives pourraient juger de l'efficacité du manuel et, en cas de nécessité, contribuer à son amélioration.

6. Simulation sur Ordinateur de l'Utilisation d'Energie dans un Bâtiment

La thermodynamique des immeubles commerciaux est un sujet complexe. Même les meilleurs et plus complets modèles mathématiques employés sur les ordinateurs existants qui simulent la performance énergétique de tels bâtiments, ne sont que des approximations et leur usage relève tant de l'art que de la science. Ils doivent être considérés comme des outils à l'état imparfait pour la conception de bâtiments utilisant l'énergie efficacement. Mais la complexité de ces bâtiments exige une analyse par ordinateur qui puisse quantifier l'utilisation d'énergie et les effets des coûts des diverses options de conception. A cause du grand nombre de variables qui entrent en jeu et interagissent dans un bâtiment, la modification d'une de ces variables (tels que le niveau d'éclairage ou l'étendue de fenêtres orientées dans une certaine direction) influencera la réaction du bâtiment aux modifications des autres variables.

Nous n'avons pas l'intention d'examiner en détails les techniques d'étude architecturale de grands bâtiments énergétiquement efficaces. Celles-ci sont présentées dans de nombreux articles publiés et dans les Manuels pour Usagers des programmes d'informatique se rapportant à ce sujet. Dans la Deuxième Partie, nous discuterons en particulier un outil d'informatique actuellement utilisé sur un plan international. Il s'agit du programme DOE-2 qui pourrait aider, dans le contexte sus-mentionné, à développer un guide pratique pour la conception de bâtiments commerciaux et publics utilisant l'énergie efficacement en Afrique de l'Ouest.

Deuxième Partie

Le Programme DOE-2 pour l'Analyse de l'Utilisation d'Energie dans les Bâtiments

1. Motivation pour le Développement

Le programme DOE-2 est un programme d'informatique appartenant au

domaine public qui examine le comportement énergétique des bâtiments existants ou planifiés et de leurs systèmes de chauffage, d'aérage, et de conditionnement de l'air. En se basant sur des modèles mathématiques, les algorithmes, et en utilisant les données météorologiques collectées d'heure en heure, le DOE-2 calcule la performance énergétique d'heure en heure et la réaction du bâtiment dont l'usager a fait la description. En plus, le DOE-2 fait l'analyse économique de l'utilisation d'énergie et l'analyse coûts/bénéfices des modifications qu'on désire apporter au design.

Le DOE-2 s'adresse à l'usage des architectes, ingénieurs et autres intéressés de l'analyse du comportement énergétique des bâtiments et de leurs conséquences économiques. Alors que la responsibilité de l'analyse énergétique incombait à l'origine seulement à l'ingénieur mécanicien, on admet actuellement que l'architecte exerce également une grande influence sur l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments. Avant l'apparition de l'équipement moderne de chauffage-aérage-conditionnement de l'air, l'architecte était le seul à déterminer la consommation d'énergie d'un bâtiment, et son plan architectural avait surtout pris en considération la nécessité d'abri et de confort de l'occupant. Les considérations de chauffage au solaire passif et d'aérage étaient alors d'importance primordiale. Avec la venue d'énergie apparamment abondante et à bas prix, et avec le développement de systèmes de distribution astucieux, l'architecte du bâtiment était devenu moins conscient en matière d'énergie. Les systèmes de chauffage-d'aérage-conditionnement de l'air pouvaient venir supplanter le chauffage et l'aération naturels, pour créer des conditions climatiques confortables à l'intérieur de l'habitat. Depuis que l'énergie s'est faite moins abondante et que les prix ont augmenté vertigineusement, l'architecte est redevenu conscient de la nécessité de faire l'analyse énergétique au stade de l'étude architecturale d'un bâtiment.

La même nécessité est venue s'imposer à l'ingénieur-mécanicien. Comme il s'agit de fournir un système qui non seulement doit satisfaire les demandes de charge de chauffage et d'électricité, mais aussi doit le faire efficacement de sorte que la dépense d'énergie soit minimale, l'ingénieur-mécanicien n'est plus en mesure de simplement augmenter la taille du système pour satisfaire la demande accrue. Augmenter la taille du système veut dire que l'équipement fonctionne intensément mais de façon moins efficace. Pour éviter ce gaspillage d'énergie, il faut connaître la capacité minimale exigée.

Les maîtres menuisiers impressionnent toujours leurs jeunes apprentis lorsqu'il s'agit de mesurer les dimensions d'une pièce de bois de charpente: ils frottent leur pouce le long du bois qu'ils marquent d'une pression de l'ongle à l'endroit désiré. Quand l'apprenti mesure à la règle l'endroit ainsi marqué, celui-ci s'avère toujours correcte. Alors que l'architecte ou l'ingénieur emploie des techniques plus avancées pour l'étude architecturale, ces professionnels ont une certain estime pour les moyens qui n'utilisent pas les calculs par ordinateur détaillés pour le design d'un bâtiment ou un système de chauffage-aérage-conditionnement de l'air, puis d'en déterminer les dimensions et pièces composantes. D'après cette approche, les calculs ne doivent pas occuper plus de place que "le verso d'une enveloppe". Plus d'exigeances sont souvent perçues comme un empêchement à la bonne conception et comme un manque d'expérience ou de bonne formation architecturale. Après tout, la personne est un stylicien et non pas un faiseur de calculs.

Mais en raison des considérations énergétiques et économiques, ces "règles empiriques" ont perdu leur attrait. Le design de bâtiments et de systèmes qui économisent l'énergie (d'où économies d'argent) dépend des interactions subtiles qui existent entre un grand nombre de variables au stade de la conception. Pour ne pas perdre le fil de toutes ces variables, il faut avoir recours à l'ordinateur.

Même si les calculs à la main étaient possibles, il faudrait énormément de calculs à la main pour considérer toutes ces alternatives. Ce travail difficile peut être remplacé par d'autres moyens. Une meilleure façon de calculer les valeurs différentes des paramètres (c'est à dire les diverses alternatives) est de développer une meilleure "règle empirique" ce que, précisément, l'ordinateur peut faire. Ainsi par exemple, parmi plusieurs options, l'ajustement fin des tailles est possible avec l'ordinateur, et le calcul de l'efficacité des déviations pour les gaz chauds ou autres stratégies de stockage peut être effectué.

En 1976, l'Administration pour la Recherche sur et le Développement de l'Energie (Energy Research and Development Administration - ERDA), devenu par la suite le Département d'Energie U.S. (U.S. Department of Energy - USDOE) a entrepris de développer un tel outil d'informatique, le programme DOE-2. En dépit du fait que plusieurs laboratoires nationaux ont collaboré à ce programme dans les sept dernières années, le travail est actuellement surtout exécuté au Lawrence Berkeley Laboratory. Le but de ce projet a été de créer, de mettre au banc d'essai, de documenter et d'entretenir un programme d'informatique appartenant au domaine public et orienté vers l'usager. Ce programme permettra aux architectes et ingénieurs de faire des études sur la conception des aspects énergétiques des bâtiments dans des conditions météorologiques véritables. Le développement de ce programme nommé sucessivement Cal-ERDA, DOE-1.4, DOE-2.0, et finalement DOE-2.1 a rempli les conditions suivantes:

1) Que le bâtiment soit décrit quasiment en anglais, de sorte que les données d'entrée puissent être facilement lues et comprises par des scientifiques non-spécialistes en informatique.

2) Que les calculs soient basés, autant que possible, sur des algorithmes éprouvés, c'est à dire que les méthodes de calcul soient acceptables aux ingénieurs.

3) Que le programme soit en mesure de simuler l'équipement de chauffage-aérage-conditionnement de l'air qui sont disponibles dans le commerce.

4) Que les coûts d'exploitation du programme soient d'un minimum.

5) Que les prévisions de la quantité d'énergie utilisée dans un bâtiment soient proches des valeurs mesurées.

Toutes ces conditions ont été remplies et la version DOE-1B du programme peut être obtenue du National Technical Information Service au prix de 2500 Dollars U.S. Par rapport au prix du développement du programme qui était de 10 millions de dollars U.S., il s'agit d'un bon prix.

2. Description Générale du Programme DOE-2

L'analyse de l'utilisation énergétique des bâtiments comprend quatre échelons.

Premièrement le calcul des pertes et des gains de chaleur dans les espaces du bâtiment, ainsi que les charges de chauffage et de refroidissement imposées sur les systèmes de chauffage-aérage-conditionnement de l'air du bâtiment. Ce calcul est effectué pour une température de l'espace déterminée, constante en temps, et porte communément le nom de "Loads calculation" (Calcul des charges). Ce calcul répond à la question: combien de chaleur doit-on soutirer ou ajouter pour maintenir l'espace à une température constante en dépit du fait que les conditions météorologiques extérieures et l'activité intérieures varient selon l'heure, d'où absorption et émission de chaleur par le bâtiment.

Deuxièmement le calcul de la quantité d'énergie qui doit être soustraite ou ajoutée par le système de chauffage-aérage-conditionnement de l'air pour répondre aux températures pré-selectionnées et aux critères d'humidité posées par les ventilateurs, les chaudières, les refroidisseurs, et les exigeances de l'atmosphère à l'extérieur. Ce calcul permettra d'indiquer la quantité d'énergie que les sources primaires d'énergie du bâtiment devront fournir. Cet échelon, appelé "Systems calculations" (calculs des systèmes), répond à la question: comment les taux d'addition ou de soustraction de chaleur varient avec les caractéristiques de chauffage-aérage-conditionnement de l'air, les températures pré-sélectionnées variables en temps, et les horaires du chauffage, refroidissement et ventilation.

Troisièmement la détermination de la quantité d'énergie exigée par l'équipement primaire tels que les chaudières et les refroidisseurs, et de la quantité d'énergie produite par les collecteurs solaires, etc. dans le but de pouvoir répondre à la demande d'énergie des systèmes de chauffage-aérage-conditionnement de l'air. Ce "Plant calculation" (Calculs d'équipement) répond à la question: Combien de combustible et d'apport d'électricité faut-il pour alimenter le système chauffage-aérage-conditionnement de l'air secondaire, vu les caractéristiques d'efficacité et de fonctionnement des composantes de l'équipement.

Le quatrième échelon évalue le coût de l'équipement, du combustible, de l'électricité, de la main d'oeuvre, et des pièces pour la réadaptation, par rapport à d'autres options d'investissement de fonds. Il répond à la question: Les dépenses de fonds pour des matériaux et systèmes d'économie d'énergie sont-elles rentables par rapport aux autres systèmes et options d'investissement?

Les trois premiers échelons illustrés dans la fig. 1 montrent l'écoulement de l'énergie. Les différentes méthodes employées et les divers degrés de précision atteints dépendent surtout du degré de correspondance entre le modèle mathématique choisi et la réalité physique. Les conditions météorologiques continuellement variables, le mouvement et va-et-vient des gens, et la chaleur émise par l'équipement et l'éclairage à l'intérieur du bâtiment provoquent les modifications continuelles - non seulement modifiant la quantité totale, mais aussi la distribution à l'intérieur du bâtiment, d'où apport de chaleur ou de refroidissement selon la nécessité. Même s'il exis-

tait des modèles mathématiques valables pour tous les cas de simulation, le calcul précis des réactions dynamiques ne pourrait pas se faire. Chaque programme d'analyse énergétique doit se faire avec des approximations et des suppositions.

En particulier, comme les phénomènes dépendent continuellement du temps, on divise celui-ci en petits intervalles discrets pour l'approximation des calculs. Le but étant de raffiner les procédés de calcul, il faut simuler les charges de chauffage et de refroidissement ainsi que les réactions du système en prenant les plus petits intervalles possibles d'un point de vue pratique. Le DOE-2 est programmé à calculer le comportement du bâtiment en intervalles d'heure en heure, ce qui permet de faire des approximations plus réalistes que les programmes d'analyse énergétique qui utilisent l'information collectée durant un jour par mois.

Des calculs qui utilisent des intervalles tellement petits, soit 8760 échelons par an, ne pourraient pas se faire sans les méthodes avancées d'informatique, d'autant plus qu'une étude consciencieuse doit probablement se faire à plusieurs reprises pour tester les diverses alternatives. La longue et coûteuse histoire du développement de tels procédés de calculs se justifie fort bien par le fait que, plus les calculs sont précis, mieux sera l'analyse des coûts du cycle de vie des bâtiments, et que, plus le dimensionnement de l'équipement sera précis, mieux on parviendra a contrôler le fonctionnement des systèmes de chauffage-aérage-conditionnement de l'air primaires et secondaires.

3. Applications du Programme

En raison de la flexibilité de l'entrée des donneés du programme, le DOE-2 peut offrir de l'assistance à plusieurs applications, en particulier à l'étude des alternatives d'économies d'énergie lors du design des bâtiments et des systèmes:

1. Etudes sur l'économie d'énergie.

   a) Effets de l'épaisseur, de l'ordre et du type de matériaux et orientation extérieure des murs et toits.

   b) Effets du stockage thermique dans les murs, les parquets, et les réservoirs d'eau ayant rapport au système de chauffage-aérage-conditionnement de l'air.

   c) Effets de l'horaire des occupants, de l'éclairage, et de l'équipement.

   d) Effets des systèmes de chauffage-aérage-conditionnement de l'air, et de l'équipement central secondaire intentionnément retenus à petites dimensions.

   e) Effets du fonctionnement intermittant, tel que l'arrêt du chauffage-aérage-conditionnement de l'air pendant la nuit et/ou les fins de semaines et vacances, ou durant certaines heures de la journée.

f) Effets de la réduction de la quantité quantité minimum d'air nécessaire de l'extérieur; utilisation d'air, à des heures prédéterminées, venant de l'extérieur pour le refroidissement.

g) Effets de l'ombragement intérieur et extérieur, et des vitres fumées et réfléchissantes.

h) Effets du chauffage ou refroidissement des bâtiments pendant les heures creuses sur la demande d'électricité pour le chauffage/refroidissement aux heures de pointe.

i) Effets de l'intervention pour contrôler les charges, du déplacement (heures différentes), et de la limitation des charges sur l'espace dans les bâtiments et sur l'utilisation d'énergie.

j) Systèmes d'énergie solaire (capteurs/stockage) pour le chauffage et le refroidissement.

k) Stratégies de recouvrement de chaleur à partir de chaleur rejetée.

2. Etudes de projets de bâtiment.

a) Au stade de l'étude, sélection initiale des éléments du bâtiment, des systèmes de chauffage-aérage-conditonnement de l'air primaire et secondaire, et de la source d'énergie.

b) Evaluation, au stade de l'étude, des idées architecturales et des modifications, y compris la subdivision optimale en zones, les stratégies optimales de contrôle et la sélection optimale des systèmes.

c) Evaluation, au stade de l'étude, des propositions de modification des plans ou normes de construction faites par le constructeur.

d) Surveillance du fonctionnement et de la maintenance du bâtiment complété,afin d'obtenir une meilleure rentabilité de l'investissement en équipement d'économies d'énergie.

e) Analyse des bâtiments en existence en vue de procéder à des réadaptations efficaces du point de vue des coûts.

f) Analyse des formules d'intervention pour répondre aux charges au niveau d'un seul ou d'un ensemble de bâtiments.

g) Comparaison des charges et choix d'équipement en utilisant les données d'un jour typique obtenues d'après l'étude du projet de construction, et d'après les données obtenues par enregistrement météorologique.

4. Examples d'Applications du Programme DOE-2

Le DOE-2 est actuellement utilisé dans 12 pays* du monde par des architectes, ingénieurs, et agences gouvernementales. Il est regrettable que la plupart des applications aient été faites par des firmes privées dont les études architecturales résultantes ne sont pas disponibles en raison des droits de propriété. Les études faites par les chercheurs ont été publiées et traitent des sujets tels que: la combinaison optimale des propriétés d'émaillage en fonction du climat, utilisation d'un système générateur d'électricité au moteur Diesel dans les bâtiments pour les charges de pointe, etc. D'autres études ont été spécialement faites pour comparer les prévisions du DOE-2 avec les mesures prises sur le site.

Quelques résultats de ces études sont présentés dans les figures 2 à 6. La figure 2 fait la comparaison entre la température mesurée d'heure en heure dans une cellule d'essai et entre les prévisions obtenues par le DOE-2, en utilisant deux algorithmes différents. En utilisant ce qu'on appelle des poids spéciaux, il est difficile de voir une différence entre les mesures et les prévisions, alors que les prévisions de l'autre algorithme diffèrent de presque $4^{o}C$ des mesures enregistrées. En faisant la comparaison avec des bâtiments commerciaux existants et occupés, les prévisions du DOE-2 n'ont jamais un écart supérieur à 15%, ce qui représente un grand succès en raison du peu d'information disponible sur l'horaire du fonctionnement et des occupants. Les travaux effectués à l'Oak Ridge National Laboratory sur les bâtiments résidentiels indiquent que, dans le cas des maisons inhabitées, les prévisions du programme DOE-2 ont un écart de 1% de la facture mensuelle d'énergie.

Les études en cours à Singapour auxquelles l'un de nous (P.R.C.) participe actuellement pourraient être ici d'un intérêt particulier. Il s'agit d'un projet ASEAN (Association of SouthEast Asian Nations - Asscciation des Nations d'Asie du Sud-Ouest) patronné par l'USAID. L'objectif de ce projet est d'aider le gouvernement de Singapour à établir l'aspect énergétique des normes de construction. Nous avons contribué en partie à ce projet en faisant des prévisions pour des valeurs différentes de paramètres pour un prototype d'immeuble de bureaux, en essayant plusieurs stratégies et en cherchant à déterminer la quantité net d'énergie utilisée dans le bâtiment en fonction des paramètres.

L'une des conséquences de cette étude est la découverte, par les chercheurs américains, que le climat et la latitude de Singapour provoquent une utilisation d'énergie à laquelle nous ne nous attendions pas. Nous avons ainsi appris que les stratégies d'économies d'énergie développées en Europe et aux Etats-Unis ne sont par directement transférables à l'Afrique équatoriale. Ainsi, nous n'avions pas pensé que des gains de chaleur proviennent des fenêtres orientées vers le nord. De même, étant donné que le chauffage n'est pas nécessaire, la stratégie qui soutire la chaleur du conditionnement de l'air devient superflue. Et le plus gênant était le fait que dans les

---

* Citons parmi ces pays, l'Autriche, le Canada, le Chili, la France, l'Italie, le Japon, le Koweit, la Nouvelle-Zélande, la République Populaire de Chine, Singapour, et la Suède (ainsi que les Etats-Unis).

conditions où la température ne descend pas au-dessous de 24°C, l'air venant de l'extérieur ne peut être utilisé pour le refroidissement. Nous avons donc été obligés d'examiner de plus près la façon dont l'énergie est utilisée dans les régions de l'équateur et de discerner ce qui est important.

Ce que nous avons découvert, c'est qu'en réduisant le niveau de l'éclairage en utilisant des ballasts et des lampes plus efficaces, et en atténuant l'éclairage dans les endroits où il n'est pas nécessaire, la quantité d'énergie utilisée dans les bâtiments a pu être réduite de 20%. En réduisant la quantité d'air d'aérage (de 4,7 litres/seconde par personne) de la moitié, 10% de plus pouvaient être économisés. L'adjonction de stores aux fenêtres permettait de réaliser 10 à 15% d'économies d'énergie, et en installant des systèmes de ventilation à volume réglable, cela a permis d'économiser 10% de plus. Ces chiffres qui sont d'ailleurs préliminaires et dépendent du bâtiment qui sert de base, représentent les économies réalisables pour chaque mesure d'économies d'énergie à l'état individuel. Car la somme des économies d'énergie qui résulte de deux mesures simultanées d'économies d'énergie est généralement inférieure à la somme d'économies d'énergie réalisables par chaque mesure individuelle pour la raison suivante que nous illustrerons en prenant un cas extrême: Comme mentionné plus haut, la réduction des niveaux d'éclairage économise de l'énergie; il en est de même pour la réduction de la taille des fenêtres; mais si l'on élimine toutes les fenêtres, on ne peut plus voir sans éclairage. Un example moins extrême est donné dans la figure 7 où la consommation d'énergie des zones périphériques est indiquée avec ou sans porte-à-faux surplombant les fenêtres, et avec ou sans lumière du jour. Si les effets s'additionnaient simplement, les figures formeraient un parallélogramme.

Il faut souligner une fois de plus que ces résultats peuvent ou ne peuvent pas être transférés vers l'environnement de l'Afrique. Il est important d'utiliser des prototypes de bâtiments dans cette région et de prendre le changement de latitude, en particulier les détails climatiques, en considération. Le programme DOE-2 exige des données météorologiques collectée d'heure en heure au site étudié. On pourrait bien faire un parallèle entre Singapour et Lomé, mais la situation devrait quand même être étudiée de plus près.

5. Possibilités pour l'Afrique

Nous avons, plus haut, avancé la notion qu'un centre de recherches subventionné par la CEDEAO pourrait utiliser le programme DOE-2 pour développer des guides et manuels pour la conception architecturale des bâtiments en Afrique de l'Ouest. Dans les propos suivants, nous indiquerons avec plus de détails les raisons qui nous ont incités à utiliser un tel moyen pour approcher les questions d'utilisation énergétique au niveau des bâtiments. En dépit du fait que le DOE-2 est un outil très sophistiqué, il se heurte à une limite qui est la suivante: avant que le modèle d'un bâtiment puisse être fait sur l'ordinateur, sa configuration et des paramètres très détaillés de la construction doivent être bien définis. Seulement, à ce stade de la conception, la consommation d'énergie du bâtiment est d'ores et déjà bien déterminée. Pour que les bâtiments soient conçus de façon à utiliser l'énergie efficacement, l'architecte doit être influencé dans cette direction avant même de tirer un seul trait sur son plan. Il faudrait

plusieurs "règles empiriques" conscientes de l'aspect économies d'énergie auxquelles l'architecte voudra bien se tenir tout en satisfaisant les besoins de ses clients.

Ces règles empiriques dépendent forcément du climat et de la région; ainsi, ce qui est capable d'économiser de l'énergie dans les régions côtières, ne l'est pas nécessairement dans les régions montagneuses où il fait sec et frais pendant la nuit. Les conditions des régions montagneuses offrent, par example, des possibilités qui n'existent pas quand l'humidité est élevée. Ces manuels d'étude architecturale seront façonnés pour chaque zone climatique.

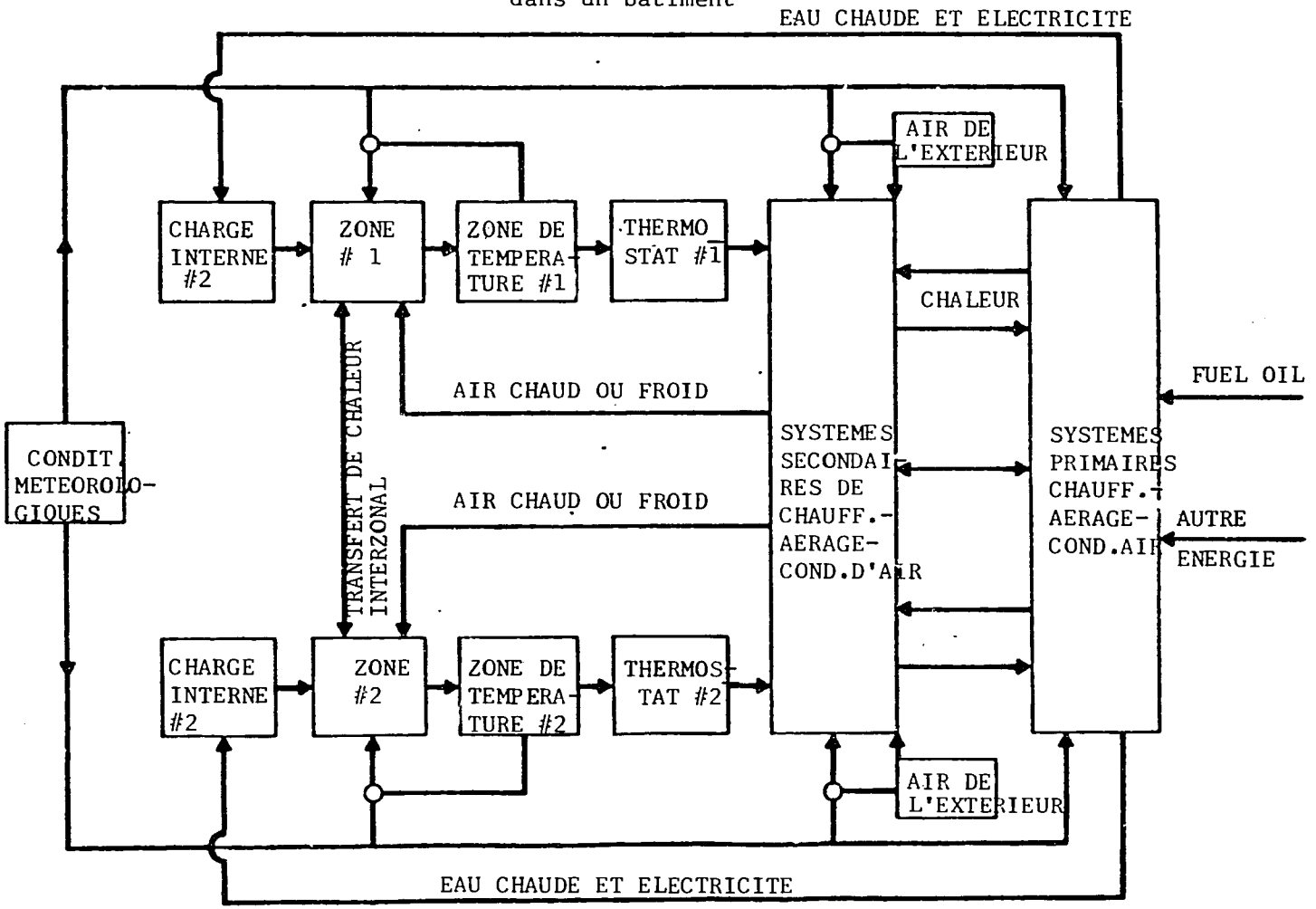
Quel sont les thèmes traités dans ces guides et manuels?

- Courbes montrant l'effet de l'orientation d'un bâtiment sur l'utilisation énergétique.
- Diagrammes montrant que la consommation d'énergie dépend de la configuration du bâtiment.
- Interdépendance des exigences faites par le rapport mûr/fenêtre et l'éclairage.
- Coûts et bénéfices de l'isolation de la toiture pour divers types de toits.
- Impact de la couleur du bâtiment et de la rugosité de la surface sur l'utilistion énergétique du bâtiment.

Il ne s'agit là que du commencement d'une longue liste de questions sur l'étude de design architectural capables d'influencer la quantité d'énergie utilisée dans un bâtiment.

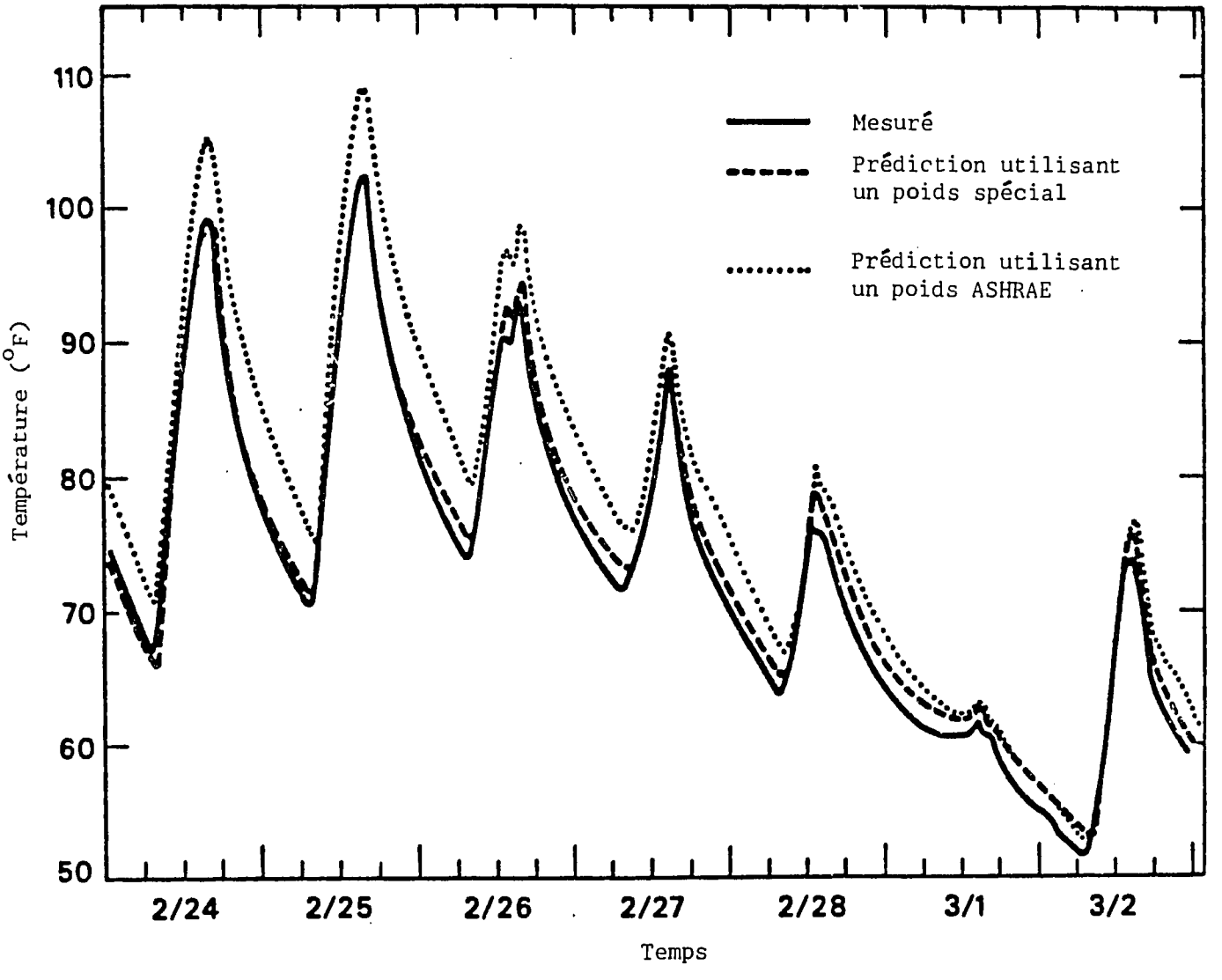
En centralisant cette tâche, des économies de grande envergure pourraient être réalisées. Il n'est pas nécessaire de dépenser des ressources précieuses pour l'acquisition d'un grand nombre d'ordinateurs ou pour la formation d'un personnel nombreux. Dès que ces prototypes de bâtiments seront définis, ils pourront servir à plusieurs reprises d'exemple à des clients et à des régions, à la seule condition de changer les données météorologiques. Ces installations pourraient, à un stade ultérieur, servir à faire des ajustements fins aux prévisions sur l'utilisation énergétique au niveau de la conception des grands projets de construction. Finalement et ce qui est peut-être l'aspect le plus intéressant de cette suggestion, est la possibilité que la CEDEAO, en adoptant un tel projet, démontre au reste du monde combien l'utilisation de tels manuels est importante du point de vue économies d'énergie. D'après nos connaissances, des projets comparables ne sont pas en cours d'exécution dans d'autres endroits.

Figure 1. Schéma de la circulation de l'énergie dans un bâtiment



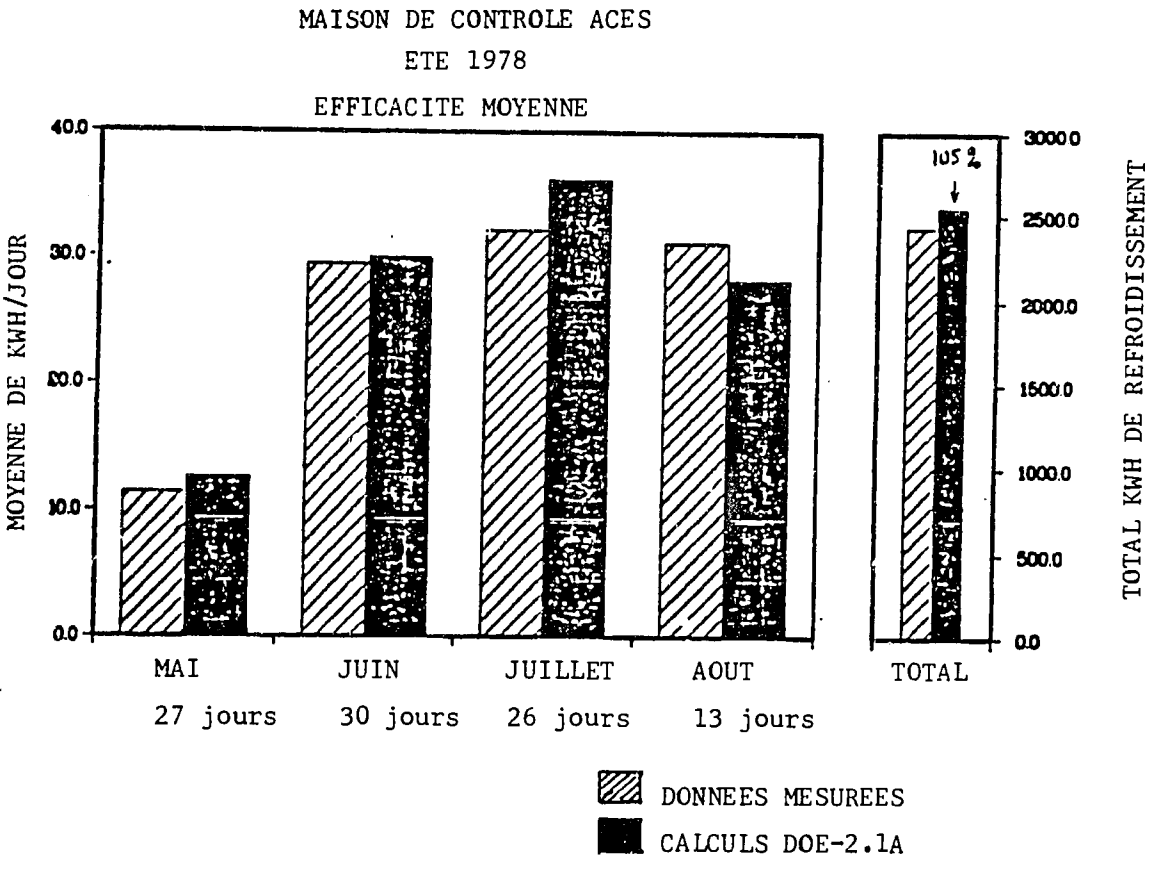
Source: R. Curtis (1981), "The Theoretical Basis of the DOE-2 Building Energy-Use Analysis Program" ("La base théorique du programme d'analyse de l'utilisation énergétique dans les bâtiments), International Energy Agency Conference, Berlin, République Fédérale Allemande. Report LBL-12300, Energy and Environment Program, Lawrence Berkeley Laboratory.

Figure 2. Comparaison entre les mesures prises dans la cellule d'essai avec les prédictions du DOE-2.1 (Los Alamos National Laboratory)



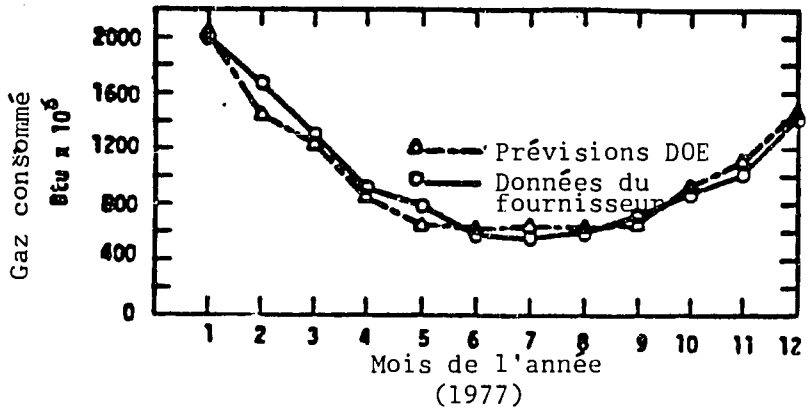
Source: R. Curtis (1981) (voir citation dans figure 1)

Figure 3. Comparaison des prédictions du DOE-2 sur l'utilisation de l'énergie avec les données mesurées dans un bâtiment résidentiel



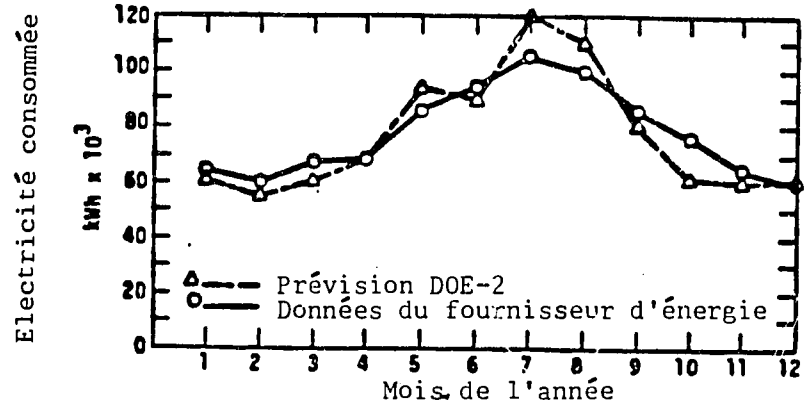
Source: J.W. Michel (22 Nov. 1982), (Informal Memorandum), Oak Ridge National Laboratory

Figure 4. Comparaison des prévisions du DOE-2 sur l'utilisation d'énergie avec les données enregistrées par le fournisseur d'énergie



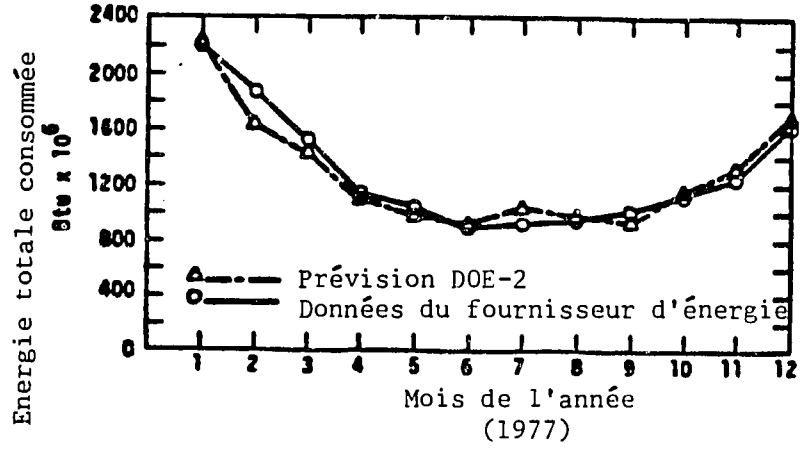
Test de référence - prévision DOE-2 par rapport aux données du fournisseur de gaz à un restaurant

Figure 4 - a



Test de référence - prévision DOE-2 par rapport aux données du fournisseur d'électricité à un restaurant

Figure 4 - b

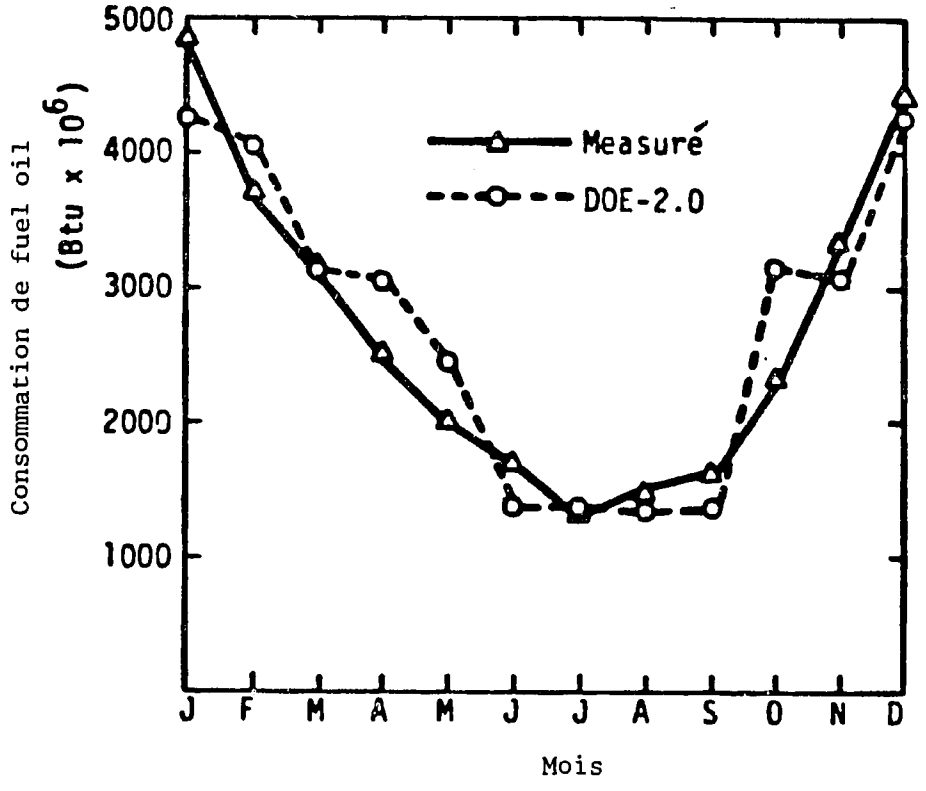


Test de référence - prévision DOE-2 par rapport aux données sur la fourniture totale d'énergie à un restaurant

Figure 4 - c

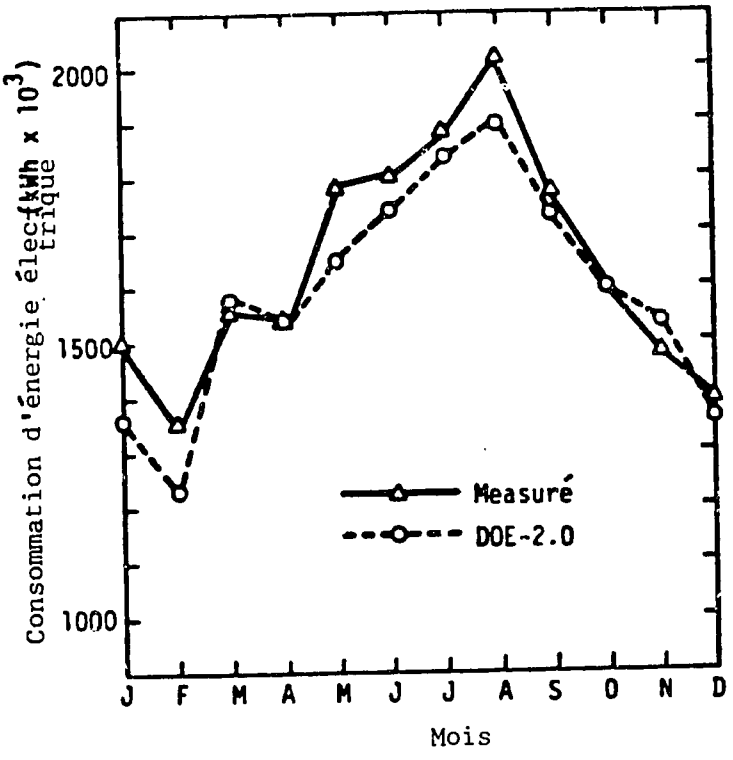
Source: "DOE-2 Verification Project - Phase 1 Interim Report" (Projet de vérification du DOE-2 - Phase 1 du Rapport Intérim), Los Alamos National Laboratory Report LA-8295-MS (avril 2981)

Figure 5. Prédiction DOE-2 de la consommation de fuel oil - Hotel Mariott, Boston, MA



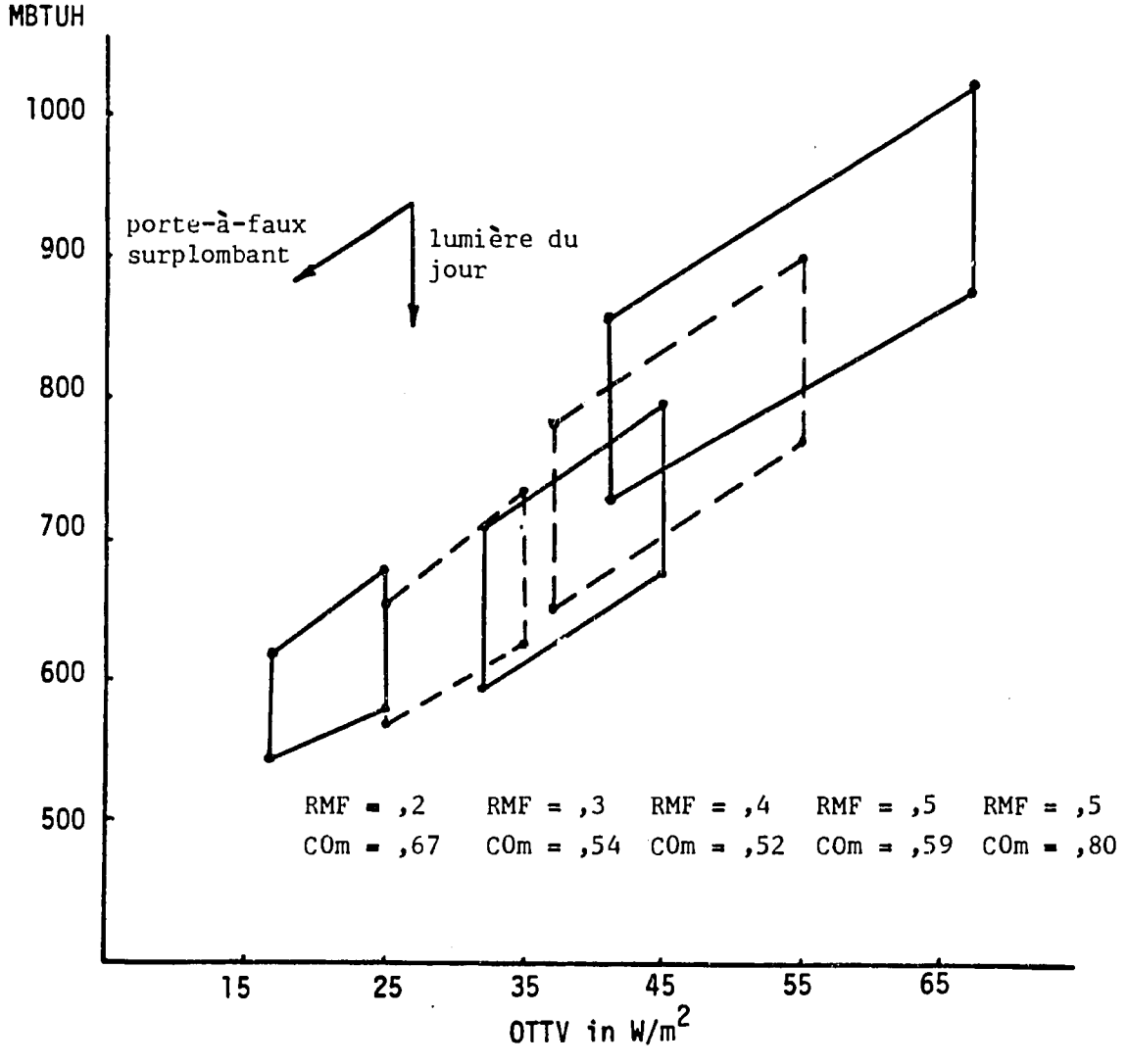
Source: Citation de la figure 4

Figure 6. Prédiction DOE-2 de la consommation d'électricité - Mariott Hotel, Boston, M



Source: Voir citation dans figure 4.

Fig7. Economies d'Energie à Singapour en fonction de porte-à-faux et lumière du jour



RMF = Rapport mur/fenêtre; COm = Coefficient d'ombragement

5.2 POTENTIEL DES SYSTEMES ELECTRIQUES DANS LES BATIMENTS POUR LA REDUCTION ET LE NIVELLEMENT DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE

Richard W. Leigh

Dans une discussion antérieure, j'ai analysé le coût de production de l'électricité du point de vue du producteur en fonction de l'heure de la journée ou de la période de l'année. J'ai souligné que de nombreuses actions pourraient être entreprises au niveau du bâtiment afin de réduire la consommation, dont les suivantes: écrêter la consommation de pointe, ce qui serait préférable, ou même transférer la consommation de l'heure de pointe vers l'heure creuse. De telles actions réduiraient la charge au niveau du producteur ou ralentiraient le taux de croissance de cette charge à un coût considérablement inférieur au coût qu'exigeraient l'accroissement de la capacité génératrice. Par la suite, ma discussion a porté sur deux catégories générales d'actions à entreprendre au niveau de la production qui permettraient de réaliser de tels bénéfices: des structures tarifaires efficaces qui mesurent la consommation pendant les heures de pointe et l'heure de la journée d'une part, et des actions entreprises unilatéralement par le producteur, tel que le financement d'efforts qui encourageront les économies d'énergie au niveau du bâtiment client, d'autre part. Dans les propos qui vont suivre, je réexaminerai une gamme de possibilités permettant de réaliser des économies d'énergie et démontrerai qu'un grand nombre de mesures à prix avantageux pourront être prises pour obtenir une réduction des coûts de l'électricité (si une structure tarifaire adéquate est mise en vigueur) et que dans un grand nombre de cas, l'analyse peut être effectuée d'une manière extrêmement simple.

Ce dernier point est important. Bien que les ordinateurs et les techniques mathématiques avancées soient précieux en matière de planification énergétique sur un plan national ou sur le plan du producteur, la plupart des calculs nécessaires à l'analyse des instruments et techniques pour la réalisation d'économies d'énergie peuvent être faits à la

main sur une simple feuille de papier. Je présenterai dans ce qui suit quelques unes des techniques les plus utiles; or, comprendre ces techniques est plus important que prendre des exemples particuliers comme modèle, étant donné que chaque idée d'économies d'énergie doit être analysée dans le cadre d'une situation particulière et doit tenir compte des données climatiques locales, des caractéristiques spécifiques du bâtiment ainsi que des tarifs électriques établis par tel ou tel producteur.

En analysant les options d'économies d'énergie, l'aspect financier fait inévitablement saillie: comment comparer le prix dépensé au départ pour un dispositif de conservation d'énergie avec le bénéfice résultant de l'accumulation des économies réalisées grâce à son installation? L'une des méthodes est d'avoir recours à un modèle financier détaillé Au cours de ces séances d'études certains modèles financiers relativement sophistiqués seront examinés. Ces derniers sont très appropriés pour de grands projets où des centaines de milliers de dollars sont en jeu ou lorsque deux projets se trouvent en compétition étroite pour l'obtention d'un même capital qui se fait rare. Pour des projets plus modestes, surtout au stade de sélectionnement initial, et pour les cas où les bénéfices sont nettement percevables, une technique beaucoup plus simple sera suffisante: supposons que pour couvrir la dépense initiale totale nous avons fait un emprunt sur cinq années au taux d'intérêts de 5% au-dessus du taux d'inflation. Ceci correspond à des paiements annuels (comprenant les intérêts et le remboursement de base) qui représentent 23% de la dépense initiale mesurée en monnaie constante (sans taux d'inflation) lors de l'année d'achat. En ajoutant 2% pour frais d'assurance, de maintenance, et d'opération se rapportant au dispositif, nous pouvons conclure que dans ce cas d'analyse, le coût annuel s'élève à 25% du prix de la dépense initiale. Ainsi, pour obtenir le coût annuel, nous multiplions la dépense initiale par le "facteur de récupération du capital" de 0.25 ; si la quantité d'énergie économisée annuellement grâce au dispositif est connue, le coût de l'énergie économisée sera:

Coût de l'énergie économisée =

= (0.25) x (dépense initiale)/énergie économisée annuellement.

Il est à noter que cette formule indique le coût de l'énergie économisée durant les cinq premières années de la vie opérationnelle du dispositif; après ces cinq années, les économies sont pratiquement réalisées gratuitement jusqu'à la fin de la durée de vie du dispositif. On peut comparer la valeur de l'énergie économisée avec ce que seraient les dépenses pour l'énergie si le dispositif n'était pas installé. Il est à noter que si les termes de l'emprunt (taux d'intérêts et durée) de cet exemple ne vous plaisent pas, il suffit d'appliquer la même méthode à des chiffres de votre choix(1).

Nous nous proposons d'appliquer ces techniques aux deux principales causes de consommation d'électricité dans les pays de la CEDEAO, l'air conditionné et l'éclairage, ainsi qu'à une autre source possible d'énergie électrique, la cogénération.

AIR CONDITIONNE

Dans les centres urbains des pays de la CEDEAO, l'air conditionné est l'une des causes principales de consommation d'électricité; ce type de consommation est de grande complexité, étant donné que la puissance nécessaire dépend d'une part des conditions météorologiques et de l'autre, de l'angle du soleil qui cause une augmentation ou une diminution de la consommation d'électricité en concertation et pour une ville entière, d'où des difficultés considérables au niveau de la production. Les techniques d'économies d'énergie peuvent réduire la consommation d'électricité nécessitée pour le refroidissement de deux manières: réduction générale de la consommation annuelle d'énergie, ce qui est souhaitable, et réduction visant en particulier la consommation d'heure de pointe, ce qui est est encore plus souhaitable. Nous examinerons les techniques qui sont aptes à produire de tels résultats.

Avant d'aborder des techniques particulières, il sera utile d'examiner, sur un plan général, la charge thermique de refroidissement. La chaleur qui doit être éliminée de l'intérieur d'un bâtiment pour assurer un certain niveau de confort, provient de quatre sources différentes: en premier lieu, de l'énergie solaire qui pénètre directement dans le bâtiment par les fenêtres, les lucarnes, et les portes ouvertes; en deuxième lieu, de la chaleur conduite par les murs, étant donné que le

soleil et l'air chaud maintiennent l'extérieur du mur à une température supérieure à celle d'un intérieur desservi par l'air conditionné; en troisième lieu, l'air qui pénètre ("s'infiltre") à l'intérieur du bâtiment par les fentes, fenêtres et portes ouvertes, ainsi que l'aération intentionnée, est plus chaud qu'à l'intérieur et doit être refroidi; en quatrième lieu, l'air des climats à forte humidité contient de de la vapeur d'eau qui doit être éliminée en partie pour assurer le confort. Or, la condensation de cette vapeur d'eau exige à elle seule de l'énergie, en plus de l'énergie nécessaire pour le refroidissement de l'air.

Chacun des quatre mécanismes précités résultera en une importante charge de refroidissement, mais qui est répartie sur des périodes différentes. L'énergie solaire dépendra évidemment de l'ennuagement, mais par journées ensoleillées, atteindra son maximum, soit le matin en raison des rayons de lumières qui pénètrent directement à travers les fenêtres donnant sur l'est., soit l'après-midi en raison des rayons pénétrant directement du côté ouest, ou aux environs de midi pour les ouvertures dans le toit. Dans les régions équatoriales, relativement peu d'énergie solaire pénétrera par les côté nord et sud du bâtiment, surtout si le toit est surplombant. L'intensité maximum du soleil est approximativement de un kilowatt par mètre carré (kW/m^2) sur une surface perpendiculaire aux rayons du soleil. Ainsi le maximum d'énergie solaire par m^2 pénétrera dans un bâtiment par une fenêtre de un mètre carré donnant sur l'ouest, tard dans l'après-midi. Si le sol avoisinant est de couleur claire, tel que le sable, la réflexion peut atteindre jusqu'à 20% du rayonnement solaire incident et peut contribuer des quantités importantes d'énergie à la charge de refroidissement; nous ne nous attarderons pas sur ces finesses pour le moment.

L'effet de la chaleur conduite par les murs sera au maximum pendant ou peu après l'heure de la température extérieure la plus haute, en général en début d'après-midi (exception faite des bâtiments en maçonnerie lourde ou en adobe; la consommation maximale pour ce type de bâtiments sera considérablement retardée et atténuée par leur masse thermique). Ainsi, la consommation due au refroidissement de l'air qui s'est infiltré à l'intérieur du bâtiment, sera au maximum lorsque la tempéra-

ture extérieure est la plus haute. Par contre, la consommation électrique due à la déshydratation sera bien plus constante, étant donné que le pourcentage d'humidité varie peu pendant la journée. Il faut noter que la réduction de ces charges de refroidissement auront des effets très différents sur la consommation électrique d'une part, et sur la production, de l'autre. Ainsi, nous examinerons trois possibilités.

Arrêt des fuites

Au risque de n'exprimer que ce qui est évident, il faut noter qu'il y a gaspillage énorme d'électricité lorsqu'un espace dans lequel de grandes quantités d'air pénètrent de l'extérieur, est air conditionné. En particulier, en consacrant quelques minutes pour arrêter les fuites se trouvant autour du châssis de la fenêtre, surtout ceux qui ne ferment qu'en position mi-close, les petits appareils montés sur les fenêtres seront amortis en peu de semaines grâce aux économies d'énergie ainsi réalisées. Une règlementation gouvernementale qui exigerait l'inclusion de mousse de caoutchouc synthétique ou d'un produit semblable anti-fuite dans chaque emballage de conditionneur, serait souhaitable. Nous n'essaierons pas de quantifier les économies ainsi réalisables, car le temps nécéssité pour stopper les fuites varie selon les individus, et que chacun évalue son temps d'une manière différente. Ainsi, la réduction de la charge se fera à l'heure où la température est la plus haute de la journée. Des économies d'énergie de ce genre peuvent être réalisées dans les installations centrales d'un grand bâtiment en s'assurant que les portes auto-fermantes se ferment effectivement, que les fenêtres ne sont pas laissées ouvertes, et que le système de régulation soit ajusté de façon à n'admettre que la quantité minimale d'air frais requise pour une ventilation adéquate.

Une situation semblable se produit avec l'isolation. Un grand nombre de bâtiments de construction plus ancienne tout en n'étant pourvus que de peu d'isolation au plafond ou complètement dépourvus d'isolation, sont actuellement air conditionnés. Il en résulte un grand gaspillage d'électricité. Une couche de 15 cm de mousse de caoutchouc synthétique peut être directement mis à la toiture à partir de la face extérieure du toit, formant ainsi une excellente isolation et étanchéité à des frais minimes. Selon des analyses effectées, il est très avantageux

du point de vue de coût initial d'ajouter un niveau excédentaire d'isolement thermique aux bâtiments. Comme auparavant, nous n'entreprendrons pas la quantification de cette option, en raison des besoins et coûts très variés.

Surfaces réfléchissantes pour fenêtres

Il existe des feuilles de matière plastique qui peuvent être appliquées sur la surface extérieure des vitres. De cette façon 50 à 90% du rayonnement solaire incident sera réfléchi, selon le type de matériau utilisé. Il faut pourtant éviter des feuilles trop opaques, car cela inciterait les locataires a allumer la lumière en plein jour, ce qui augmenterait la charge de conditionnement d'air au-delà de ce qui préexistait. Ces feuilles sont pourvues d'une couche adhésive et il suffit de les découper d'après les dimensions des vitres, puis de les poser soigneusement. Le coût, y compris l'installation, est de $10 - 20 (CFA 3 500 - 7 000) au mètre carré. L'énergie solaire de pointe pénétrant par les fenêtres donnant sur l'ouest (ou l'est) est de 0.6 à 0.8 kW/m^2 en tenant compte de son passage à travers la brume, de l'angle du soleil, et de la diffusion sur le long trajet de la lumière dans l'atmosphère. Une feuille plastique qui transmet 25% du rayonnement incident réfléchira 0.45 - 0.6 kW/m^2, réduisant ainsi la charge thermique de pointe par une quantité correspondante. Pour un bâtiment donné pourvu d'un conditionneur d'air d'une certaine capacité, l'installation de ces feuilles n'aura pas d'effet sur la consommation d'un bâtiment. Par contre, si on traite de cette façon un grand nombre de bâtiments se trouvant dans la zone desservie par le producteur, la demande totale de puissance électrique sera réduite, car chaque conditionneur sera mis en marche moins fréquemment. Si le coefficient moyen de rendement (COP) des condidtionneurs est 2.5 , la demande de puissance électrique au niveau du producteur sera réduite de la charge thermique citée ci-dessus divisé par 2.5 , soit de 0.18 - 0.24 kW/m^2. Si la charge de pointe au niveau du producteur se produit vers la fin de l'après-midi, elle sera réduite par cette dernière quantité. Ainsi, le producteur nécessitera moins de capacité génératrice, ou bien pourra ralentir la croissance de cette capacité. La valeur d'un tel ralentissement est égale au coût de la feuille au mètre carré divisé par la

puissance au mètre carré non utilisée, soit 40 - 110 $/kW [2] (15 000 - 39 000 CFA/kW), ce qui est très favorable par rapport au coût de l'accroissement de la capacité génératrice de pointe. Par conséquent, si la charge de pointe au niveau producteur se produit vers la fin de l'après-midi, il est moins onéreux pour le producteur (et, en retombée, pour tous les consommateurs) d'installer à ses frais de telles feuilles de plastique sur les fenêtres ouest des bâtiments air conditionnés que d'augmenter la capacité génératrice. Etant donné que les propriétaires des bâtiments bénéficieraient de factures d'électricité sensiblement réduites, un arrangement bilatéral pourrait, à long terme, être profitable pour les deux parties intéressées.

Même si la charge de pointe se produit au début de l'après-midi de sorte qu'elle ne sera pas réduite par l'installation de ces feuilles, la charge quotidienne d'énergie en kWh sera quand même considérablement abaissée parce que les mêmes résultats seront obtenus pour les fenêtres donnant sur l'est par la réflexion du soleil matinal. Une fenêtre donnant sur l'ouest (ou l'est) transmettra 900 - 1300 kWh/m^2 par an d'énergie thermique; notre feuille réfléchissante réduit ce chiffre de 75%, et en divisant par le COP (coefficient moyen de rendement) de 2.5 nous obtenons des économies d'électricité de 270 - 390 kWh/m^2 par an. En calculant la dépense annuelle pour les feuilles ($10 - 20 au m^2), en utilisant notre coefficient 0.25 de récupération du capital initial, l'installation des feuilles coûtera $2.5 - 5 au mètre carré par an; en divisant ce chiffre par l'économie d'énergie au mètre carré, nous obtenons le coût de l'énergie économisée de 0.006 - 0.018 $/kWh (2.2 - 6.5 CFA/kWh), ce qui est bien inférieur au coût de la génération d'électricité. Si la structure tarifaire et l'éducation des consommateurs ne les incite pas à prendre de telles mesures d'économie (ceci parce que le consommateur ne possède pas les moyens financiers suffisants), il est dans l'intérêt de tous les consommateurs que le producteur fasse installer de telles feuilles réfléchissantes à ses frais ou à un prix permettant aux consommateurs dotés de cette installation et au producteur à se partager les économies.

Emmagasinage de l'eau

Sauf dans les climats les plus humides et les plus ennuagés, les

charges de refroidissement sont bien plus grandes pendant la journée que pendant la nuit. En partie à cause de cela, les producteurs d'électricité ont des difficultés à pourvoir l'électricité nécessitée pendant la journée; pendant la nuit, en particulier tard dans la nuit, ils peuvent mettre hors-circuit leur équipement générateur peu efficace, ce qui a pour résultat de baisser le prix de l'énergie électrique. L'emmagasinage d'eau froide permet de créer un environnement refroidi pour le bâtiment pendant la journée, mais en ne consommant que l'énergie électrique plus avantageuse de nuit (d'heure creuse). Si le bâtiment est pourvu d'un système de refroidissement à l'eau froide (le seul cas considéré dans cette étude), la méthode est extrêmement simple: une grande cuve isolée pour contenir l'eau est ajoutée au bâtiment, et (en cas de nécessité) la capacité des bobines refroidissantes est augmentée. Les bobines sont alors mises en marche pendant toute la nuit et peuvent baisser la température de l'eau dans la cuve jusqu'à 4 - 5°C. Il est évident que la charge thermique de réfrigération de nuit doit également être satisfaite. Pendant la journée, les bobines refroidissantes de la cuve sont débranchées et le bâtiment est refroidi par la circulation de l'eau froide emmagasinée. Le système sera bien plus efficace si la cuve est prévue pour le fonctionnement en mode stratifié de façon à ce que l'eau refroidie qui est plus lourde, entre et sorte par la partie inférieure, et que l'eau tiède qui est plus légère, entre et sorte par la partie supérieure de la cuve; un mélange ne se produira pas à cause de la différence en densité de l'eau tiède et de l'eau froide. Dans une zone qui subit des interruptions d'approvisionnement d'électricité, il serait souhaitable d'augmenter la fiabilité du système en s'assurant que le bâtiment est pourvu d'un système générateur d'électricité de réserve pour le bon fonctionnement des pompes de circulation d'eau et des ventilateurs. Mais nous ne nous attarderons pas sur cette dernière option.

Ces systèmes sont un peu encombrants: si la charge thermique moyenne de jour est de 10 - 100 kW thermique (4 - 40 kW de charge électrique), et si nous supposons un changement de la température d'eau de 10°C ainsi que l'emmagasinage d'une quantité d'eau suffisante pour refroidir le bâtiment pendant 10 heures, il nous faudrait 8600 - 860 000 litres d'eau, ce qui correspond à un espace de dimensions linéaires de 2 à 10

mètres. Ces systèmes sont, par contre, très rentables. Le coût de l'emmagasinage est de 0.60 - 0.30 $/litre (200 - 100 CFA/litre) pour cette quantité d'eau; il est à noter que le coût par unité diminue en fonction de la grandeur de la cuve. Le coût annuel est donc de $0.15 - 0.075 $/litre-an (50 - 25 CFA/litre-an). Avec une baisse de la température de 10 degrés, nous pouvons stocker 10 000 calories par litre par jour, ce qui donne 4.23 kWh/litre-an (pour un cycle journalier et un COP de 2.5). Ainsi, le coût du stockage d'électricité en forme de froid est de 0.035 - 0.018 $/kWh électrique (12 - 6 CFA/kWh), ce qui est plus avantageux que l'habituelle différence entre le coût d'électricité d'heure de pointe et d'heure creuse.

Un nouveau système de stockage de froid est en cours de développement au Brookhaven National Laboratory et promet les mêmes économies ou davantage. Ce système utilise la haute valeur de chaleur latente de la fusion de la glace et offre huit fois autant de capacité de chaleur que celle stockée dans de l'eau dont la température a changé de 10 degrés. Dans une cuve isolée et de poids léger, des petits sacs en matière plastique contenant de l'eau pure sont plongés dans un mélange d'eau et d'anti-gel faisant fonction d'échangeur de chaleur. Ansi, une grande quantité d'énergie thermique peut être introduite et prélevée de la cuve par la solution d'anti-gel et être stockée en forme de chaleur latente de la fusion de l'eau pure.

Si une puissance frigorifique supplémentaire est nécessaire pour refroidir l'eau emmagasinée pendant plusieurs heures de la nuit, des dépenses supplémentaires seront évidemment nécessaires. Il est quand même peu probable qu'une puissance frigorifique supplémentaire soit nécessaire, étant donné que les systèmes de refroidissement sont normalement prévus pour les charges de pointe et fonctionnent normalement avec un bas coefficient d'utilisation. Lorsqu'une puissance frigorifique supplémentaire est ajoutée, elle fera marcher les bobines refroidissantes à un coefficient d'utilisation plus élevé, selon le besoin de refroidissement de la masse de stockage de froid.

Quoique le stockage de froid offre suffisamment de gains au producteur d'électricité pour que l'installation du système (par le producteur) soit justifiée, il n'y a aucun intérêt à y recourir si les tarifs

différentiels pour l'utilisation d'énergie selon la période du jour ne sont pas mis en vigueur. Etant donné que l'opération du système demande à être suivi de près (par exemple, il faut s'assurer qu'il ne se recharge pas pendant la journée), il est dans l'intérêt économique de la gérance du bâtiment que le système fonctionne efficacement. Ceci est assuré si elle en fait l'achat. A l'inverse, les raisons citées dans ce qui précède n'inciteront pas le producteur-distributeur à acheter et placer de tels systèmes; le projet est suffisamment important pour que le gérant, acheteur éventuel, le considère avec l'intérêt que le système mérite, car les économies seront grandes et nettement perceptibles, et la technologie n'intimidera pas l'acheteur. Par conséquent, l'emmagasinage de l'eau froide est un investissement exemplaire qui permettra au propriétaire (ou au gérant) du bâtiment de faire de grandes économies d'énergie électrique s'il achète un tel système.

Eclairage de grande efficacité

Les tubes fluorescents sont très répandus dans plusieurs régions d'Afrique Occidentale, ce qui indique que l'éclairage de grande efficacité y est considéré comme important. Je tiens quand même à souligner l'importance que revêt ce mode d'éclairage pour le producteur-distributeur. Une ampoule incandescente de 100 W produit 1700 lumen de lumière (ce qui donne une efficacité mal définie d'à peu près 3%). Un tube fluorescent typique aura un rendement de 60 lumen/W, c'est à dire qu'il faudra seulement 30 W pour produire la même intensité de lumière. En outre, la durée de vie typique d'un tube fluorescent est de 10 000 heures, ce qui est à comparer avec une durée de vie de 1000 heures d'une ampoule incandescente. Ainsi, la dépense intitiale pour un tube fluorescent ($20 - 30) peut être réduite des $10 qui correspondent à la somme nécessaire pour l'achat de dix ampoules incandescentes, d'où une dépense initiale de $10 - 20 pour 1700 lumen de lumière fluorescente, ce qui est encore élevé. Pourtant, pendant la durée de vie de 10 000 heures du tube, il économisera (100 - 30) x 10 000 Wh ou 700 kWh au prix de 0.015 - 0.030 $/kWh (5 - 10 CFA/kWh). Etant donné que ce prix est considérablement inférieur au coût de génération d'électricité d'un kilowatt-heure, il est avantageux de partout installer de tels tubes, ce qui se

produit en effet actuellement. Dans les installations nouvelles, comme par exemple dans le cadre des programmes d'électrification rurale, l'installation d'une lampe fluorescente de 44 W à la place d'une lampe incandescente de 100 W représente une économie de 66 W; or, cette économie de 66 W permet au producteur-distributeur d'éviter à augmenter la capacité génératrice qui lui coûterait $10 - 20. Ceci correspond à une capacité génératrice "évitée" ayant la valeur de 150 - 300 $/kW, ce qui est comparable au coût de la capacité de pointe, mais est considérablement inférieure au coût d'une nouvelle capacité de base. En résumé, les dépenses pour l'éclairage fluorescent sont, au niveau du producteur-distributeur, compensées par l'économie de capacité dont il bénéficiera, les économies d'énergies étant des gains net. Si, dans les nouveaux projets d'électrification rurale, les nouveaux clients faisaient le mauvais choix de l'éclairage incandescent à cause des dépenses initiales moindres, le producteur aurait alors intérêt à simplement leur donner gratuitement des tubes fluorescents pour éviter le coût de l'accroissement de la capacité et pour éviter de fournir de l'électricité à des systèmes inefficaces. Le même raisonnement est valable pour l'éclairage à l'arc (lampes de sodium or de mercure) servant à éclairer les grands halls et et les surfaces au grand air où la grande taille de ces ampoules n'est pas hors proportion.

Cogénération

Lorsqu'on considère les méthodes habituelles de génération d'électricité à partir de sources d'énergie thermique, il faut mentionner les inévitables pertes d'énergie s'élevant à 60 - 70% de la capacité énergétique du carburant sous forme de déchets thermiques. En outre, les procédés industriels basés sur l'énergie thermique souvent n'utilisent qu'une petite partie de l'énergie produite parce qu'une certaine température est nécessaire; la plupart de l'énergie contenue dans le combustible est éliminée sous forme de déchets thermiques. La cogénération est un procédé technologique qui essaie de récupérer ces pertes en générant de l'électricité à l'endroit même où l'énergie thermique est générée puis consommée, assurant ainsi qu'une beaucoup plus grande partie de la capacité énergétique du combustible est utilisée.

Le sujet est bien trop vaste pour être traité au cours de ces

séances d'étude. J'essaierai seulement de classifier les systèmes de cogénération, de relever les quelques facteurs qui sont nécessaires pour en analyser la rentabilité, et donnerai un exemple d'estimation qui permettra d'indiquer si des études plus approfondies sont souhaitables. Pour des projets de cette envergure, les analyses économiques et d'ingénierie sont irremplaçables et indispensables pour chaque projet.

Les systèmes de cogénération sont normalement utilisés dans les usines où le combustible à brûler est le pétrole ou le gaz, et où ils continuent à brûler ce même combustible, mais plus efficacement. La démonstration aux Etats-Unis des systèmes activés par l'énergie solaire, par la combustion des déchets d'ordures, ou par le charbon a fait ressortir le fait que seul les systèmes qui utilisent les déchets d'ordures sont avantageux; or, comme l'Afrique ne connaît encore pas le problème des déchets d'ordures excessifs, ce combustible n'est pas pratique pour elle. Il est à noter que l'éventail de grandeurs possibles de ces systèmes est énorme, allant de quelques kilowatts à quelques centaines de megawatts, et qu'il peut incorporer une grande variété de sources d'énergie.

Les systèmes de cogénération se présentent en deux catégories: "topping cycle" (cycles du haut) et "bottoming cycles" (cycles du bas). Les cycles du haut fonctionnent comme les centrales électriques ordinaires; le combustible est brûlé et l'énergie se trouvant à la température la plus élevée est utilisée pour la génération d'électricité, soit par la détente des gaz d'échappement dans une turbine à combustion ou un moteur diesel, soit en générant de la vapeur à très haute pression dans une turbine à vapeur. Les gaz d'échappement et la vapeur usée issus de ce procédé et ayant une température de 100 - 450°C sont alors destinés à satisfaire les besoins thermiques des conditionneurs d'air à absorption, des procédés de nettoyage, de certains procédés utilisés dans l'industrie alimentaire, de papier ou de bois de construction, ou même des raffineries de pétrole qui demandent des températures dans la tranche de 350° - 450°C. Le cycle du bas est approprié quand le procédé industriel exige de la chaleur à très haute température (par exemple, pour la brique, le ciment, ou la métallurgie) car l'énergie provenant de ce

procédé est encore à une température suffisamment élevée pour faire marcher une turbine à vapeur et générer des quantités d'électricité appréciables.

L'efficacité des cycles du bas dépend fortement du procédé même, que ce soit avant ou après l'utilisation de la cogénération. Quant aux cycles du haut, si le procédé employant les déchets thermiques prête à l'utilisation de cette énergie à une température de 150° ou au-dessous, il est en général possible d'extraire 30% de l'énergie du combustible sous forme d'électricité, et 30% sous forme d'énergie thermique. Si le procédé demande des températures plus élevées, l'efficacité de génération d'électricité sera limitée par les considérations thermodynamiques, mais l'efficacité thermique peut être améliorée. Il est de coutume aux Etats-Unis de considérer la valeur de l'électricité comme plus élevée et c'est pourquoi on mesure l'efficacité du système de cogénération comme suit:

$$\text{Efficacité} = (EP + TP/2)/FC$$

où EP est l'électricité générée, TP l'énergie thermique créee et utilisée pour un but utile, et FC la capacité énergétique du combustible.

Pour éviter les coûts pour le transport de l'énergie thermique (par ex. dans de la tuyauterie isolée pour l'eau chaude) le système de cogénération est presque toujours installé à proximité ou à l'endroit même de la consommation d'énergie thermique. Il faut ajouter que le rapport électricité générée/énergie thermique générée est strictement fixé pour certaines technologies (moteurs diesel et turbines à contre-pression) et ne varie que modérément pour les autres (turbines à extraction). Puisque notre but est l'utilisation efficace de l'électricité et de l'énergie thermique, il est nécessaire de projeter un tel système avec circonspection. Si les charges thermiques sont grandes par rapport à la charge d'électricité, fournir toute l'énergie thermique par moyens de cogénération ne devient intéressant que si, après avoir satisfait les besoins de l'industrie utilisatrice sur place, l'électricité excédentaire peut être vendue aux producteurs-distributeurs d'électricité du réseau entier. Si les charges thermiques ne sont pas constantes, un stockage thermique peut être nécessaire. Si la consommation d'électrici-

té est grande, il serait prudent de projeter les dimensions du cogénérateur de sorte qu'il soit en proportion avec les petites charges thermiques, et d'acheter chez le producteur-distributeur l'électricité qui s'avérerait encore nécessaire. Il va de soi qu'un bon rapport avec le producteur-distributeur est nécessaire.

Comme exemple d'un assez grand système de cogénération, considérons le système montré dans la fig. 1a. Ce système comporte une turbine à combustion, une turbine à vapeur qui fonctionne utilisant les déchets thermiques de la turbine à combustion, et d'un système de conditionnement d'air à absorption qui fonctionne utilisant la chaleur rejetée par les deux turbines. Les fluides, leurs températures et les puissances stationnaires sont indiquées à plusieurs endroits du système. En alternative, un système basé sur une réfrigération centrifugale utilisant l'électricité achetée chez le producteur-distributeur, est montrée dans la fig. 1b à titre de comparaison.

L'efficacité de la génération d'électricité est de 33% et l'efficacité de la cogénération telle qu'elle est définie plus haut, est la suivante:

$$\text{Efficacité} = (17 + 5.4 + 34/2)/68 = 0.88 = 58\%$$

Pour une estimation des frais d'opération pendant la première année, nous allons d'abord définir les paramètres économiques nécessaires et leur attribuer quelques valeurs à titre d'exemple:

K = Capital total (= $22.4 millions, à $1000/kW).

L = Coefficient de nivellement (= 0.2 dans ce cas, pour tenir compte d'une durée de vie plus longue, ainsi que de la maintenance et des coûts d'opération du système dont il est tenu compte séparément; dans d'autres exemple, ce coefficient était de 0.25).

M = Frais de maintenance (= $0.005/kWh).

EP= Electricité générée par an.
(= 22.4 MW x 8760 heures = 200 millions kW).

FC= Combustible consommé par an.
= EP/efficacité = 3 x EP

CF= Coût du combustible (= $4.60 ou $ 2.30/GJ, soit 0.0165 ou 0.0082 $/kWh = 5.8 ou 2.9 CFA/kWh; basé sur

$28.00 par baril de pétrole ou sur la moitié de ce prix pour le gaz).

EC= Electricité consommée par le conditionnement d'air électrique (= 9.3 MW x 8760 heures = 81 million kWh par an).

VE= Valeur du kW d'électricité vendue au producteur-distributeur.

CE= Valeur du kW d'électricité achetée au producteur-distributeur.

Nous ne tiendrons pas compte de la consommation d'électricité faite par l'installation pour son usage interne ou son éclairage; par contre, nous considérerons la consommation d'électricité pour l'air conditionnement par systèmes conventionnels, car il est à supposer que l'électricité nécessitée pour l'éclairage et son usage interne est achetée au producteur-distributeur dans les deux cas. Dans le cas de la cogénération, toute la puissance électrique est vendue au producteur; cette forme de comptabilité (entre autres) relative à la cogénération porte le nom d'"arbitrage". Afin de savoir s'il y a intérêt à ce qu'une installation de la cogénération fournisse de l'électricité pour satisfaire à sa propre demande, en ne vendant que l'excédent au producteur-distributeur, et en n'achetant que ce qu'il n'est pas en mesure de fournir lui-même (achat/vente net), dépendra de VE et de CE, et de ses propres demandes de puissance sur lesquelles il doit être bien renseigné. Nous sommes obligés de mettre de côté cette option pour le moment, mais elle doit être prise en considération lors de toute évaluation de systèmes de cogénération proposés.

L'ensemble des bénéfices, B , résultant de l'opération du système de cogénération sera calculé comme suit: revenu provenant des ventes d'électricité moins les coûts d'opération du système, plus les économies réalisées parce que le système conventionnel n'est pas utilisé. Nous supposons que les dépenses initiales pour les conditionneurs d'air à absorption et électriques sont à peu près les mêmes et obtenons:

$$B = EP \times VE - K \times L - 3 \times EP \times CF - EP \times M + EC \times CE$$
$$= EP \times (VE - 3 \times CF - M) + EC \times (CE/VE) - K \times L .$$

La figure 2 montre B en fonction de la valeur de l'électricité, VE pour les 2 coûts de combustible cités ci-dessus comme paramètres, et pour CE/VE = 0.8 , 1.0 et 1.2 . Il est évident que la valeur du

système de cogénération dépend fortement de VE, du prix que le producteur-distributeur voudra payer pour l'électricité, de CE, du coût de l'électricité achetée, et du prix du pétrole. Les régions où le gaz naturel est actuellement brulé sont les plus propices pour ce type de technologie, et le prix plutôt bas du combustible a été choisi comme exemple pour indiquer que l'utilisation d'un combustible à bas prix pourrait être très avantageuse.

La cogénération peut s'avérer être une mesure d'économie d'énergie très attrayante au public, mais d'après ce qui précède, son évaluation est très complexe. Outre les facteurs discutés ci-dessus, plusieurs remarques sont à faire, dont:

- Coefficient de charge (nous avons supposé que les machines fonctionnent à 100% du temps; à vrai dire, cela ne se produit pas en réalité).
- Changements en charge thermique; la nécessité de s'assurer que l'opération fait suite à la charge, le stockage thermique, et les autres méthodes de régulation.
- Methodes de financement.
- Etablir la valeur de l'électricité pour le producteur-distributeur; doit-on employer les coûts de limite ou moyens?
- Impacte sur l'environnement: beaucoup de technologies de cogénération créent plus de pollution que les technologies de génération d'électricité conventionnelles.

Toutes ces questions seront discutées dans les références bibliographiques.

NOTES (se rapportant à pages 3 et 6)

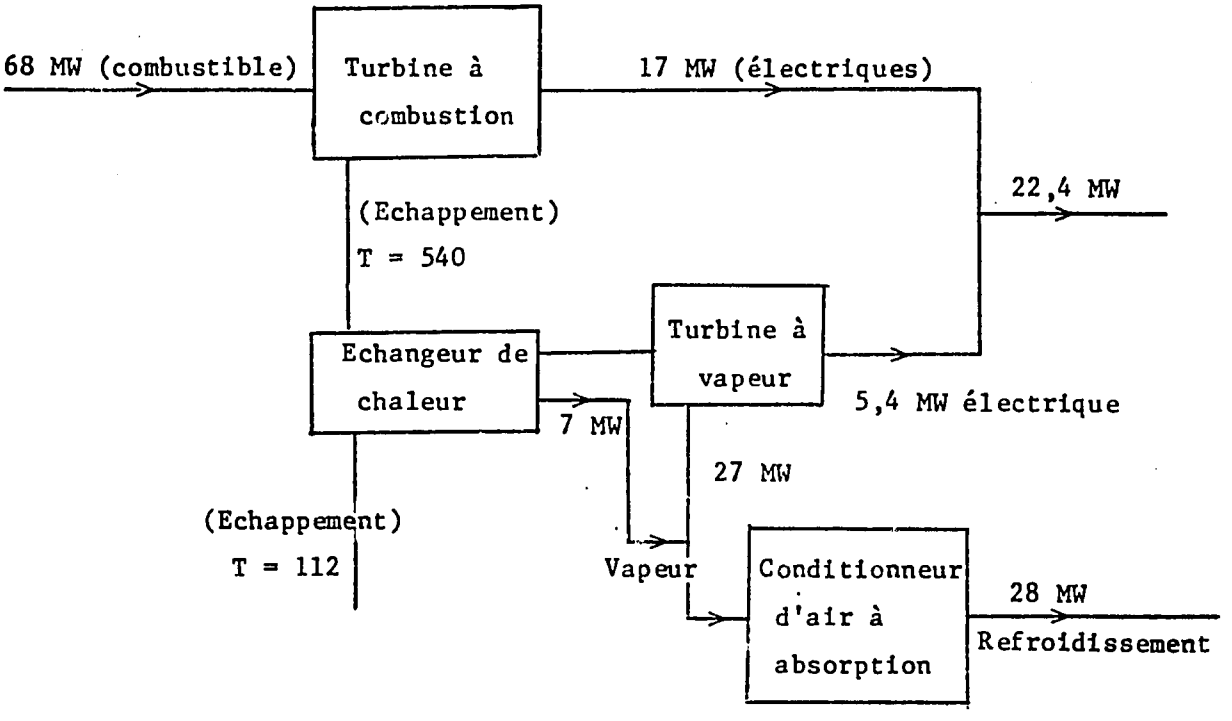
1) Le facteur de récupération du capital est donné par

$$CRF = P/C = I/[1 - 1/(1 + I)^{**}N] + D$$

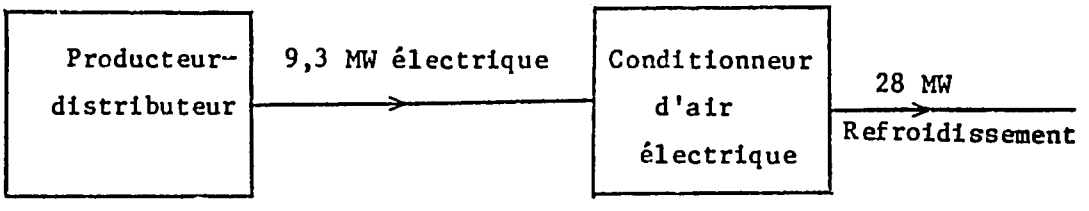
où C est the capital total exigé, P est le paiement par an (ou autre période de temps uniforme), D sont les frais d'assurance, d'opération et de maintenance par an, I est l'intérêt par an, N est le nombre d'années, et ** indique l'exponentation, c'est à dire (1 + I) puissance N. Dans notre exemple, I = 0.05 , N =5 et D = 0.02.

2) En calculant un intervalle de valeurs comme par exemple 40 - 110

$/kW, je présenterai toujours le plus grand écart possible pour des données d'entrée. Pour l'exemple cité, la valeur 40 $/kW est le quotient de 10 $/m^2 (le prix moins élevé) et 0,24 kW/m^2 (la puissance plus grande), alors que la valeur au haut de l'éventail est le quotient du prix plus élevé et de la puissance plus faible.



(a) Système de cogénération



(b) Système conventionnel

Figure 1.

Comparaison entre la cogénération et les systèmes de production conventionnels pour les grandes charges thermiques dues au conditionnement d'air.

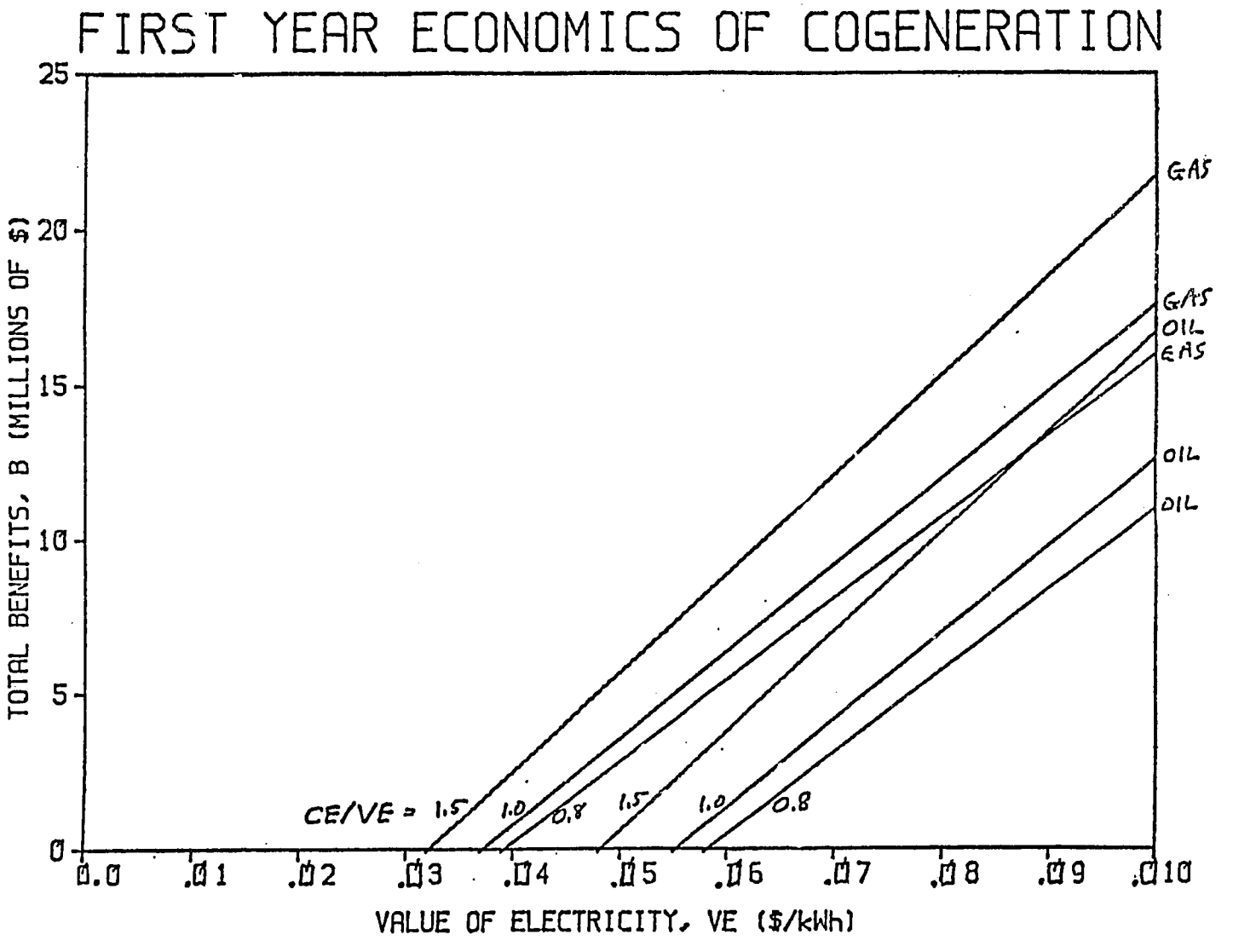


Figure 2

REFERENCES

1) SERI, op. cit., Chapter 1, Buildings.

2) Solar Products Specifications Guide, SolarVision Inc., Church Hill, Harrisville, NH, 03405, U.S.A. (This annual publication is a compendium of manufacturer's specifications for a wide range of solar and conservation equipment.)

3) Energy Users News, Fairchild Publications, 7 East 12th St. New York, NY, 10003. (A weekly newspaper for energy managers and professionals, contains very up-to-date information on conservation technologies for large facilities.)

4) George Polimeros, "Energy Cogeneration Handbook" Industrial Press, Inc., 200 Madison Ave, New York, NY, 10157.

5) "Cogeneration", Pequot Publishing Co., 654 Hillside Road, Fairfield, CT, 06430. (A bimonthly trade magazine).

SECTION 6

LE SECTEUR DES TRANSPORTS

6.1 ANALYSE DE L'UTILISATION D'ENERGIE DANS LES TRANSPORTS-- PRINCIPES ET PRATIQUE

T. O. Carroll

1. INTRODUCTION

Presque sans exceptions, la quantité d'énergie consommée par les transports est égale ou supérieure à celle consommée par tout autre secteur de l'économie des pays en développement. Par surcroît, l'équipement de transport utilise toujours des types de combustibles plus coûteux tels que les distillats plus légers que sont l'essence ou le diesel-oil. Ainsi, le niveau élevé de la demande dans le secteur des transports tant en quantité qu'en qualité, a empiré la balance des paiements des pays importateurs de pétrole.

La demande d'énergie par les transports augmente rapidement en fonction du développement économique.[1] A vrai dire, la demande d'énergie pour le transport de passagers et de marchandises a tendance à augmenter plus fortement que celle de l'ensemble de la croissance économique.

Des tentatives de contrôle ont été faites dans plusieurs p.e.v.d. pour mettre un frein à cette expansion de l'utilisation énergétique par le secteur des transports. Quelques pays ont imposé des limitations d'importation ou une majoration des prix de l'essence afin de restreindre la demande en voyages. D'autres ont réussi à déplacer la demande d'essence vers le fuel oil diesel ou l'alcool (au Brésil, par example), en imposant une combinaison de tarifs douaniers et de structuration des prix. Des pratiques de conduite aux jours pairs/impairs ont été adoptées à Lagos et Caracas. La prise de telles mesures a réussi à limiter quelque peu l'utilisation d'énergie par le secteur transports. Néanmoins, comprendre l'interdépendance des caractéristiques physiques et économiques du pays, dont l'infrastructure des transports, est d'un impératif absolu pour qu'une stratégie d'ensemble efficace puisse être formulée.

2. CARACTERISTIQUES DU TRANSPORT DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

Alors que moins de particuliers possèdent des véhicules dans les p.e.v.d. que dans les pays industrialisés, la densité des véhicules (nombre de véhicules par km de route pavée), est comparable à celle des autres pays du monde (voir tableau 1).[2] Le transport automobile dans les pays moins

Previous Page Blank

développé dessert surtout les zones urbaines. Alors que dans les pays en développement, un pourcentage typique de 20% de la population réside dans le centre ou aux alentours des villes (le chiffre correspondant pour les pays industrialisés est de 60-80%), les problèmes posés par la congestion automobile sont semblables à ceux des pays industrialisés. Comme preuve, il suffit d'observer la congestion qui sévit à Tokyo, Nairobi, Mexico-City, et New York City.

Tableau 1. Caractéristiques du transport

	1960	1975	%
Pays en développement:			
Voitures	3 106 000	13 614 000	338
Camions	2 373 000	5 750 000	142
Total voitures & camions	5 479 000	19 364 000	254
km de chaussées pavées	166 852	457 586	174
veh/km de route pavée	32.8	42.3	
vehicules/1000 habitants		12.8	
Pays industrialisés (Europe, Japon, USA):			
Total voitures & camions	107 825 000	268 842 000	150
km de chaussées pavées	2 077 390	6 042 970	190
veh/km de chaussée pavée	51.9	44.5	
vehicules/1000 habitants		349.5	

Source: International Road Federation (IRF)

Entretemps, le rythme auquel se font les immatriculations d'automobiles a dépassé le double de celui de la construction routière des dernières 15-20 années dans les p.e.v.d.[3] Il en ressort que les problèmes liés au grand nombre de véhicules pour une moindre surface de chaussées, vont probablement s'aggraver dans le futur. Les basses rémunérations reçues dans les pays en développement défavorisent, pour le moment, la possession d'une automobile par les individuels (voir Fig. 1), mais cela implique qu'une augmentation

des salaires pourra mettre la possession d'une voiture à la portée des salariés. En effet, d'après les données du tableau 2, le taux de croissance des enregistrements d'automobiles dans un nombre de villes, est près du double de celui de la population.

Le transport de marchandises (tonne-km par PNB) est une fonction directement liée à la structure économique d'un pays. Ainsi, par example, la Bolivie, exportatrice de plomb et de produits pétroliers, a une intensité de transport de (9.8 tonne-km par PNB), alors qu'Israel, pays agricole, a une intensité de (0.72 tonne-km par PBN).[4] L'intensité du transport de marchandises semble n'augmenter que lentement au cours des années. En Corée, la demande de transport de marchandises a augmenté de 1.7 en 1960 à 2.3 en 1974. Néanmoins, même avec une intensité constante, le transport de marchandises croît en proportion avec le PNB, aggravant ainsi le problème de congestion, surtout dans les zones urbaines.

4. VEHICULES ET MODES DE TRANSPORT

L'intensité énergétique des autres modes de transport est très variable. En raison de son influence évidente sur la consommation énergétique sur le plan national, nous examinerons quelques caractéristiques des divers types de véhicules pouvant répondre à la demande de transport de passagers et de marchandises dans les pays moins développés.

Déplacement de passagers

L'efficacité transport/énergie (pass-km par kilojoule utilisé) pour les divers modes de transport de passagers est montrée dans le Tableau 3.[7] Les paramètres seront différents selon les pays, étant donné que les caractéristiques individuelles des véhicules sont tout aussi différentes, et que la performance de chaque véhicule dépend de la situation géographique de chaque pays. Le train de banlieue ou le métro est évidemment le mode de transport le plus efficace du point de vue énergétique. Par contre, ce mode de transport est parmi ceux qui exigent le plus d'investissements et qui manquent d'une certaine flexibilité vis-à-vis des configurations nouvelles qui résultent de l'aménagement du territoire et de l'exploitation des activités industrielles. Il est vrai que l'automobile est le moyen de transport le plus répandu dans la plupart des pays et permet des déplacements sans limites, d'endroit à endroit.

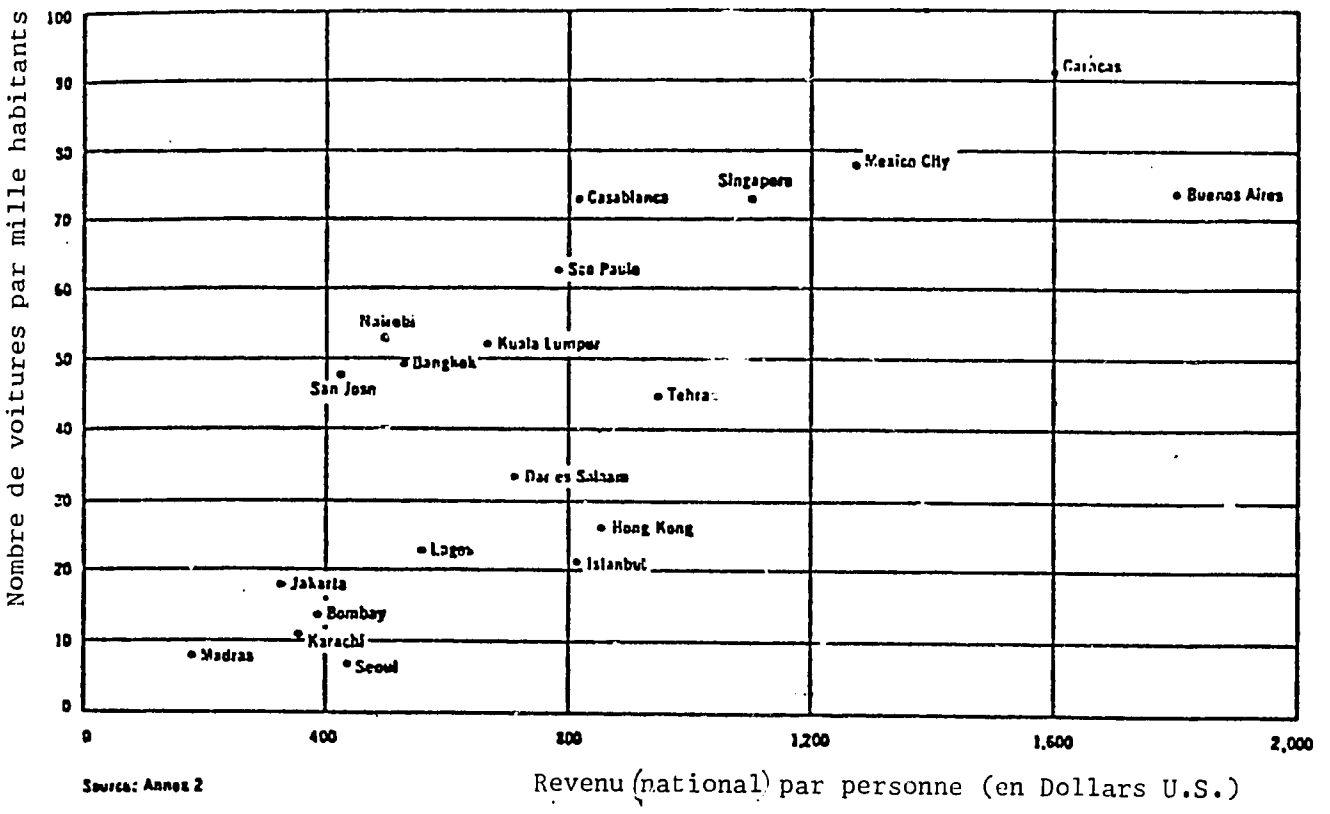


Figure 1. Nombre de voitures en fonction des rémunérations.

Tableau 2. - Croissance de la population et des voitures dans des villes sélectionnées; taux de croissance annuel 1960-70.

City	Population %	Automobiles %	City	Population %	Automobiles %
Abidjan	11.0	12.7	Istanbul	6.0	12.2
Seoul(1)	8.5	22.0	Mexico City	5.8	10.5
Lagos(2)	7.9	15.5	Bombay	3.7	8.2
Kuala Lumpur	6.5	11.3	Singapore	2.6	6.7
Bangkok	6.2	12.0	Buenos Aires	2.4	12.1

Note: The data for this sector are generally weak and not closely comparable.

(1) Figures for 1961-70

(2) Figures for 1964-69

Source: Annex 2.

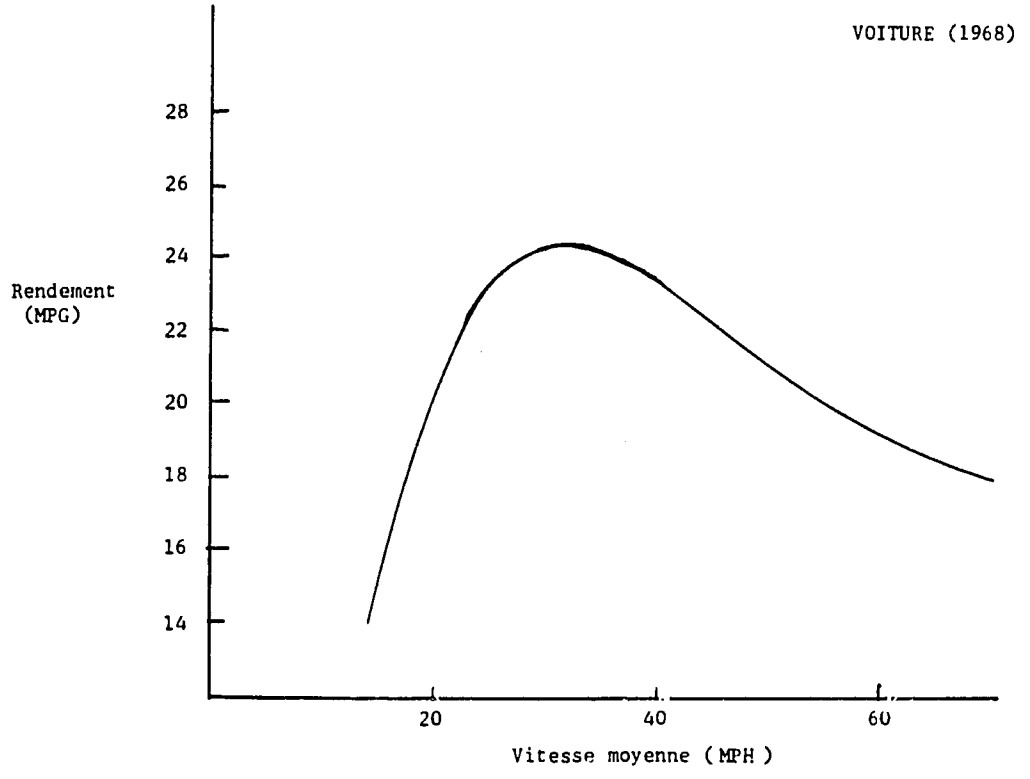
Tableau 3. Rendement énergétique des transports

Rendement énergétique		Rendement énergétique / l'heure		
Mode	Pass-km/litre	Mode	km/h	(Pass-km / heure) (km / litre)
Ferroviaire banl.	50	Jumbo Jet	640	7680
Motocycles	46	Jet	640	5120
Volkswagen	24	Jet pour société priv.	480	2880
Autobus (urbain)	17	Train banl.	48	2400
Voiture (ordinaire)	15	Motocycles	48	2210
Taxi	14	Volkswagen	48	1150
Jumbo Jet	12	Voiture (ordinaire)	48	720
Jet	8	Ferrov.(interurb.)	80	560
Ferrov.(interurbain)	7	Hélicoptère	96	290
Paquebot	6	Taxi	24	340
Jet pour société priv.	6	Autobus (urbain)	16	270
Voiture (urbaines)	4	Voitures (urbaines)	32	130
Hélicoptère	3	Paquebot	16	100
Yacht	2	Yacht	24	50

Source. T.O. Carroll & E. Udell. "Solar Energy, Land Use, and Urban Form" (Energie solaire, aménagement du territoire, et forme urbaine), dans R. Burchell and D. Listokin Energy and Land Use, Rutgers University Press, New Jersey, 1982.

La consommation de combustible est une fonction de la vitesse moyenne. Ainsi, les automobiles américaines sont conçues pour maximaliser le rendement de combustible à une vitesse allant de 30 à 50 mi/heure (voir Figure 2).[8] Au-delà de cette vitesse, la résistance de l'air et la résistance au roulement réduisent ce maximum de rendement du combustible. Les vitesses moyennes de 10 mi/heure qui sont typiques des zones urbaines, et le mouvement arrêt-démarrage de la circulation empêchent un bon rendement du combustible. Le rapport entre vitesse moyenne et coût opératoire du véhicule lorsqu'utilisé à des vitesses moyennes basses est encore plus inquiétant.

Figure 2. Rendement du carburant de l'automobile en fonction de la vitesse moyenne



Source: R.B. Sawhill, et al. "Vehicle Characteristics of Fuel and Travel Time on Urban Arterials and Freeways" (Caractéristiques véhiculaires du combustible et du temps de parcours sur les voies routières urbaines), Forty-Ninth Annual Meeting of the United States Transportation Research Board.

D'après la figure 3, le coût du service d'autobus ou de mini-bus est généralement bien inférieur à celui du transport automobile.[9] Pourtant, lorsqu'opérés aux vitesses typiques des centres de zones urbaines, les coûts opératoires du service d'autobus peuvent être supérieurs à ceux du mode voitures particulières. Ainsi, en plus d'un certain manque de flexibilité et de confort à l'utilisation, les autobus perdent, à des vitesses moyennes inférieures, leur avantage sur la voiture en matière économies de combustible.

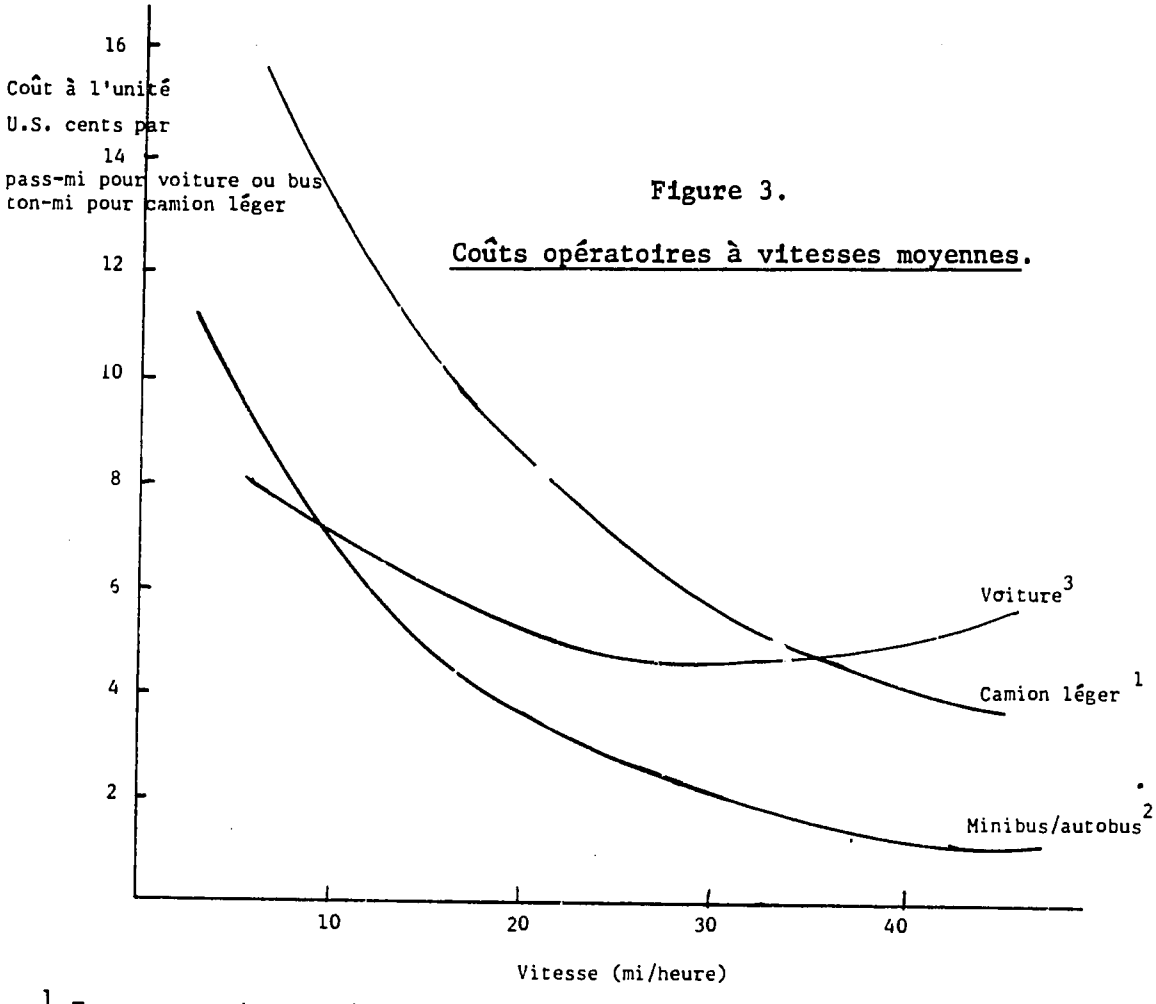


Figure 3.

Coûts opératoires à vitesses moyennes.

1 En supposant un poids brut de 5 tonnes

2 en supposant 22 pass/minibus et 40 pass/autobus, à une capacité de 70%.

3 en supposant en moyenne 2 voyageurs par auto

Source: Adapté d'après un article de Wilbur Smith and Associates "Singapore Mass Transit Study, 1974. (Etude sur transports publics à Singapore).

La vitesse moyenne du parcours est un élément important lorsqu'on choisit un mode de transport.[10] Nous voyons souvent des individus qui conduisent leur voiture en pleine zone urbaine malgré l'inefficacité énergétique d'une telle action. Le classement selon efficacité énergétique des divers modes de transport est tracé dans le tableau 3 et semble suggérer que les autobus et les trains sont à préférer à l'automobile, alors qu'en réalité, la description est très inexacte par rapport à la réalité. Si les vitesses estimées sont prises en considération, nous obtenons une mesure de la rapidité du parcours (pass-km/heure) et du rendement du combustible (km/litre) pour chaque mode de transport actuellement en utilisation, ce qui

correspond en effet à l'utilisation réelle.[11] Notre mesure "temps-rendement du combustible" classe aussi les modes selon la distance du parcours, le nombre de personnes transportées, la vitesse de déplacement, et le combustible utilisé. Par conséquent, les similarités entre classement suivant la réalité et suivant la formule mettent en relief la valeur implicite du temps en termes économiques et son importance lors de la planification des systèmes de transports.

Déplacement de marchandises

Le tableau 4 fait la comparaison des modes de transports de marchandises d'un point de vue transport/efficacité énergétique.[12] Dans ce

Tableau 4. Rendement énergétique du transport de marchandises

	Tonne-km/GJ	Coût de l'énergie/coût total
Pipeline	740 - 8200	.7 - .8
Eau	850 - 2700	non indiqué
Rail	850 - 4500	.08 - .12
Camion	200 - 1200	.01 - .02
Air	20 - 180	.3 - .4

tableau, l'écart des valeurs est grand et supérieur à celui des modes de transport de passagers, car les types de véhicules pour marchandises et leur performance dépendent de facteurs locaux tels que le type de terrain, la circulation, les produits transportés, et le poids moyen des charges. Alors que l'avantage offert par le transport ferroviaire et maritime ou fluvial par rapport au transport aérien et routier est nettement percevable, il faudrait un bien plus grand volume de marchandises transportées pour que ces modes deviennent vraiment intéressants du point de vue énergétique. Pourtant, hormis le déplacement de certain minéraux et de ressources d'énergie, la production, la distribution, et l'utilisation des marchandises dans les p.e.v.d. font surtout appel aux moyens de transport pour petites charges à être distribuées à travers de grandes surfaces. En raison de ces considérations, il est peu surprenant que le transport routier soit la composante du transport de marchandises ayant la plus forte croissance dans les p.e.v.d.

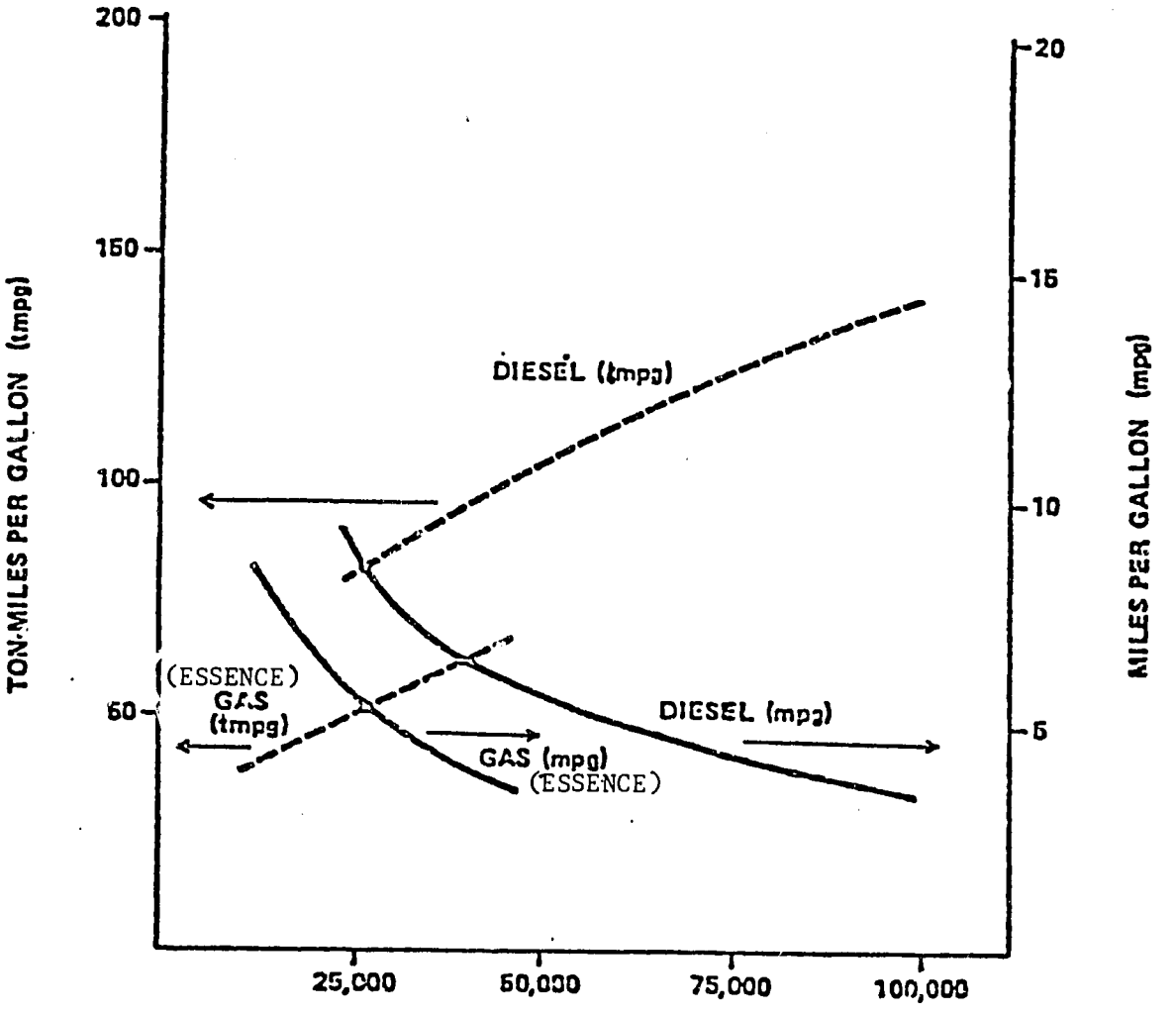


Figure 4. Rendement du combustible en fonction du poids brut du véhicule.

Source: U.S. Department of Transportation et al., Interagency Study of Post-1980 Goals for Commercial Motor Vehicles, Executive Summary, Washington, D.C., July 1976, p. 6.

D'après fig. 4, le transport des marchandises fait état d'écono mies d'échelles. Le trait le plus saillant est le fait que pour un même poids du véhicule, les moteurs diesel sont énergétiquement plus efficaces de 30 pourcent par rapport aux moteurs à essence.[13] Mais comme les coûts de l'énergie représentent une faible proportion du coût total du transport des marchandises, les majorations du prix du combustible pétrolier n'a pas eu un grand impact.

5. ENERGIE UTILISEE PAR LES TRANSPORTS

Il y a deux approches pour analyser la demande d'énergie dans le secteur des transports. La première est fondée sur "l'élasticité" de la demande; la deuxième comprend une évaluation des interventions spécifiques faites selon la planification d'une politique des transports. Chacune des deux approches offre une vue approfondie, et nous en ferons la comparaison. Nous proposerons également la façon dont ces deux approches devraient être utilisées par rapport à l'évaluation de l'énergie utilisée nationalement.

L'approche "elasticité" est une conception relativement simple. Elle est basée sur l'expression analytique spécifique de la consommation de combustible E (en litres) d'une part, au prix de l'essence, au revenu national par personne, ainsi qu'à d'autres paramètres, de l'autre. Leur rapport s'énonce comme suit:

$$E = k P^{a} Y^{b} \qquad (1)$$

où k est une constante, P le prix de l'essence, et Y le revenu national par personne.

L'approche d'elasticité est simple et élégante, mais a des faiblesses lorsqu'appliquée à des situations réelles dans les pays en développement. La conception provient évidemment d'une analyse statistique des actions antérieures. Il faut faire une supposition quelque peu osée, à savoir que le comportement futur réflètera celui des années précédentes. Mais dans les pays en développement, les conditions qui déterminent le comportement du secteur des transports peuvent changer rapidement et l'infrastructure fragile a bien moins de pouvoir résorbateur. Ainsi, par example, la montée vertigineuse des prix de l'essence a eu pour effet l'introduction dans les

pays en développement, de véhicules diesel pour le transport de passagers (le fuel oil diesel est fortement subventionné, en raison de son utilisation à des fins agricoles). Ainsi, l'extrapollation du comportement futur des transports qui se base sur des actions passées, ne peut être très exacte.

L'approche "politique/planification" est fondée sur des évaluations séparées de la demande de transport (mesurée en pass-km ou en tonne-km) et de l'efficacité énergétique d'un certain type de véhicule (mesurée en pass-km par litre ou tonne-km au litre). L'approche "politique de planification" a un avantage sur celle "d'elasticité", à savoir celui d'être fondé sur des données qui sont généralement accessibles aux pays en développement. La consommation de fuel oil s'exprime comme suit:

$$E = \sum_m \frac{D_m}{e_m} \qquad (2)$$

où D_m est la demande de transports pour un mode donné "m" (pass-km ou tonne-km) et e_m est l'efficacité énergétique de ce mode spécifique au carburant. Etant donné que cette approche discerne entre la demande de transport et l'intensité d'énergie du véhicule, il faut considérer la gamme entière d'options de politiques applicables aux situations existant dans plusieurs pays en développement. L'étude de cas décrite plus loin pourra servir d'example.

Il faut souligner que du point de vue de prise de décisions gouvernementales, c'est souvent l'impact relatif des différentes politiques qui importe, et non pas le résultat directe. On peut ainsi dire que malgré le fait que l'estimation du nombre de passagers transportés ou de tonnes de marchandises déplacées par kilomètre n'est pas aussi précise qu'on ne le souhaiterait, l'impact des diverses politiques affectant la consommation de combustible doit quand même être étudié après avoir soupesé les diverses politiques et en les comparant entre elles.

6. POTENTIEL D'ECONOMIES D'ENERGIE DANS LE SECTEUR DES TRANSPORTS

Une estimation du potentiel d'économies d'énergie dans les transports a été faite par la Banque Mondiale (voir tableau 6).[14] Alors que peu d'économies furent réalisées par la réduction ou la privation de déplacements, des mesures d'ordre technique ou régulateur ont pu réduire la consommation de combustible de voitures ou de camions de 20 à 30%. Il est prévu que le

Tableau 6. Pays en développement: Economies potentielles de carburant dans le secteur des transports, années 80 (exprimées en pourcentage de la consommation totale du secteur)

	Part de la Consommation totale	Economies résultant de: Efficacité véhiculaire	Mesures de contrôle	Meilleur usage	Réduction de demande	Cumulé
Camions	35 - 45	6	2	10	5	23
Autobus	8 - 12	2	(.)	5	(.)	7
Voitures	25 - 35	20	2	2	5	29
Navigation	5 - 10	2	5	5	(.)	12
Avion	5 - 10	20	5	5	(.)	30
Rail	2 - 5	1	(.)	5	(.)	6

(.) moins que 0,5
Source: Estimations de la Banque Mondiale

rendement de l'essence va s'accroître dans la décennie à venir, fait dont pourraient profiter les pays en développement en imposant des tarifs douaniers plus élevés, des majorations du prix de l'essence, ou en rendant obligatoire l'immatriculation des automobiles avec paiement de taxes échelonnées à un rythme annuel, ceci dans le but de défavoriser les voitures à grand moteur. Ainsi, la Corée a mis en oeuvre un puissant programme d'action gouvernementale qui consiste en une combinaison de: forte majoration du prix de l'essence, augmentation des tarifs douaniers sur les automobiles et pièces de rechange, et mesures de contrôle pour augmenter le prix des voitures et camions produits localement. Ces actions ont eu pour résultat une réduction de la consommation d'énergie de 45% entre les années 1973 et 1975.

L'efficacité technique des camions ne suivra pas le cours de celle des voitures. Pourtant, des économies importantes pourront être réalisées si des modifications sont faites au niveau des travaux de chargement/déchargement des camions. La fixation d'horaires plus efficaces pour la collecte et la livraison des charges, l'emploi plus fréquent de remorquage arrière, et l'utilisation de camions de grande taille et chargés à plein plutôt qu'en partie, permettront d'économiser du combustible, mais il faudrait en même temps obtenir une action mieux concertée de la part des camionneurs-proprié-

taires individuels ou de parc et des maisons d'expédition. Il est regrettable que malgré les économies de 10% montrées dans le tableau 6, il n'existe pas de documentation sur des examples de transport par camion jusqu'à ce jour.

Le remplacement du mode de transport en voiture par le mode autobus permet, dans bien des cas, d'atteindre un rendement de combustible 3-4 fois meilleur par pass-km. Mais une telle alternative de transport exige l'octroi de soins très suivis. Les lignes d'autobus doivent être établies de façon à être proche des points de départ et d'arrivée les plus souhaités et surtout, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, ne doivent pas prolonger le temps du trajet. Ces mêmes considérations sont valables pour le remplacement des camions par le transport ferroviaire. La relance du service ferroviaire au Brésil qui comprend d'ailleurs de l'équipement de transroulage n'a pas été couronné de beaucoup succès. Par contre, l'amélioration du système ferroviaire en Inde permet actuellement de transporter 90 pourcent du total des marchandises à transporter.

D'autres modes réagissent tout aussi favorablement aux mesures d'économie d'énergie. Les moteurs des avions à réaction ont également subi des modifications à cet effet dans les dernières années. Même les navires ont modifié leurs vitesses et utilisent parfois un mélange de combustibles dans le but d'économiser de l'énergie. Mais comme ces modes consomment peu par rapport à la consommation nationale totale par les transports, les gains ainsi réalisés sont en général peu significatifs.

MODULE A2. ENERGIE UTILISEE PAR LES TRANSPORTS: UNE ETUDE DE CAS

1. INTRODUCTION

Cette étude de cas de la République Dominicaine illustre les pratiques et principes de l'analyse énergétique des transports dans les pays en développement. Près d'un dixième de la population totale de 10 millions habitent dans la région métropolitaine de Saint Domingue, et la congestion occasionnée par les voitures, les taxis (publicos), et les autobus est tout aussi congestionnée que dans tout autre centre urbain du monde. L'importation de pétrole en quantité croissante et ses effets sur la balance des paiements est le coeur même du problème énergétique existant en République Domini-

caine. En 1980, les importations de pétrole s'élevaient à plus de 500 millions de dollars U.S. en devises, soit près de 40 pourcent des recettes en devises étrangères. D'après une estimation, 30 pourcent des 1000 KBEP de pétrole est consommé par les transports de passagers et de marchandises.

Une augmentation rapide de la demande de fuel diesel est prévue à la suite de la substitution de véhicules à moteur d'essence par des moteurs diesel (surtout dans les services de transport inter-urbains) et de l'expansion des parcs de camions diesel. En plus, les mini-bus diesel viennent s'introduire dans le système des transports publics qui, jusqu'à présent, consistait surtout de taxis (voir figure 2). A la suite de la demande accrue de produits agricoles et fabriqués, on a pu noter une augmentation du nombre d'immatriculation de camions diesel de grande taille.

2. AUDIT D'ENERGIE DU SECTEUR DES TRANSPORTS

L'Audit d'Energie des Transports en République Dominicaine est donné dans le tableau 2. Une estimation de la consommation nationale d'énergie exige des paramètres bien déterminés pour le transport de passagers et de marchandises. Dans chaque cas, nous déterminons: a) le nombre de véhicules et, parfois, nous les sous-classons en véhicules à essence ou diesel-oil, b) le rendement du combustible exprimé en km/litre, c) pour chaque mode de transport, le taux annuel de consommation de combustible. Il faut noter que l'information exigée pour les audits d'énergie sur les transports n'est pas facile à obtenir des agences ou d'autres sources, n'est peu-être pas disponible du tout, ou est reçue sous une forme qui est difficile à incorporer dans l'audit. Il va de soi que les meilleures informations sur les transports recueillies en chantier sont celles qui proviennent d'études récentes.

Dans la République Dominicaine, l'information sur le nombre d'autobus, le nombre de passagers qu'ils déplacent, et la consommation de combustible existe bien, mais non pas la distance parcourue. En principe, un groupe de paramètres peut, pour les audits d'énergie sur le transport, servir de base pour calculer un quatrième paramètre (en utilisant les colonnes du tableau 2: (1) x (3)/(4) = (5)). Ces calculs se trouvent au bas du tableau, note C. Et pour pouvoir compléter l'Audit, il a fallu faire une pareille estimation de la consommation de combustible par les taxis.

Tableau 2

Audit d'Energie sur les Transports (1981)

Région Métropolitaine de Saint Domingue

PASSAGER	Véhicules[1]	Capacité/Occup.[7]	Distance Parcourue	Rendement du combustible	Consommation de combustible
Privé	42 000	5/1.3	17 000 km/véh.-an[a]	35 km/gal[5]	20 millions gal/an[1]
Taxi (publico)	7600[2]	5/3	60 000 km/véh.-an[b]	30 km/gal[b]	5000 gal/jour p. 38 véhic. par jour
Mini-bus	0[3]	22/13	60 000 km/véhic.-an	20 km/gal[12]	14 gal/ (chiffre estimé)
Autobus	450	30/18	60 000 km/véh.-an[c]	12 km/gal	5000 gal/jour pour 30 véhic. par jour.[6]
MARCHANDISES	Véhicules[1]	Capacité/charge	Distance transportée	Rendement	Consommation de combustible
Camionnettes	26 600	n.ind./1.5 t	24 000 km/véh.-an[9]	30 km/gal[9]	non indiqué
Grands camions	15 500	10 tonnes/2 tonnes	35 000 km/véh.-an[8]	15 km/gal[8]	non indiqué

Tableau 3

Analyse des Transports Publics: Mini-bus/voitures,

Restrictions de l'importation.

PASSAGER	Demande de voyages, pass-km (millions) Base 1980[1]	Perspective 1990	Mini-bus	Avec restr. import.	Rendement[2] (pass-km/bep)	Consomm. annuelle combustible (mille bep) Perspective 1990	Mini-bus	Restrict. importat.
Privé	940	1940	1940	1300	2100	920	920	620
Taxi	590	910	640	960	4100	220	150	230
Mini-bus	---	---	270	590	10 500	---	30	60
Autobus	340	490	490	490	9100	50	50	50
	1870	3340	3340	3340		1190	1150	960

NOTES: 1. Obtenu du tableau 2 , (1)x(2)x(3). Seul la moitié des taxis peut circuler par jour eux tiers des autobus circulent par jour.

2. Obtenu en multipliant le taux d'occupance par le rendement du combustible donnésdans tableau 2 (dans les colonnes (2)x(4) à l'échelle de bep).

Notes sur le tableau 2

Sources:

1. Obras Publicas (Departement des Travaux Publics)

2. Seul la moitié du parc de taxis a l'autorisation de circuler tous les jours.

3. Les minibus viennent d'être introduits dans les transports publics.

4. ONATRATE (Bureau du transport routier).

5. Les données sur le rendement du combustible des voitures particulières ont été fournies par les négociants d'automobiles.

6. SIDCHODISNA (Union des Chauffeurs du District National).

7. Le nombre de voyageurs par voiture a été estimé par plusieurs observateurs.

8. FENATRADO (Federation Nationale des Transports). Les données sur le rendement du combustible des camions proviennent des "Tables for Estimating Vehicle Operating Costs on Rural Roads in Developing Countries" (Tableaux pour l'estimation des coûts opératoires sur chaussées rurales dans les p.e.v.d.), Transport and Road Research Laboratory, Crowtherne, Bershire UK (1976).

9. Le rendement du combustible des camions a été communiqué par les négociants de camions. 85% du parc de camions utilise l'essence et 15% le fuel-oil. Les données ne sont pas suffisamment précises pour pouvoir calculer le rendement de ces deux types de moteurs.

10. Le tonnage annuel transporté provient de l'Oficina National de Estadisticos (Bureau National des Statistiques). Les divers types de camions selon le poids ont été communiqués par Obras Publicas. Ces données nous permettent de calculer la capacité (en poids) et les charges moyennes.

11. Le parc de véhicules particuliers est constitué de 96% de moteurs à essence. Par contre, le nombre de voitures diesel augmente rapidement en raison du subventionnement considérable du prix du diesel-oil.

12. Rendement du combustible d'un nouveau minibus diesel Datsun pour 22 passagers.

Notes sur les calculs

a. La distance annuelle parcourue par les voitures a été déterminée à partir de véhicules, efficacité, et consommation, soit:
col(3) = (4) x (5)/(1).

b. Le rendement du combustible des taxis a été estimé à 30 km/gal. Les taxis ne peuvent circuler qu'aux jours alternatifs et nous prenons en considération que 20% du temps est réservé à la maintenance. Ces suppositions permettent ainsi les même calculs que a.

c. Nous supposons 300 jours de conduite par an. Le calcul est le même que dans note a.

3. ANALYSE DE LA DEMANDE D'ENERGIE PREVUE ET POLITIQUE D'ECONOMIES D'ENERGIE

Dans cette section, nous analyserons les tendances futures de la consommation d'énergie dans le secteur des transports. Plus loin, nous examinerons des cas où des mesures d'économies ont été prises, et leur impact.

3.1 Déplacement de passagers

L'année de base (1980) relative à la demande de transport de passagers dans la République Dominicaine est décrite dans le tableau 3. Ces chiffres qui proviennent de l'audit d'énergie, représentent simplement le nombre de passagers transportés, la distance parcourue, et le nombre de véhicules. Le sous-classement en voitures particulières, taxis, et autobus est typique de la plupart des pays en développement. Pour le moment, les voitures particulières ont le rendement du combustible le moins favorable par rapport aux autres modes de transport et consomment 80 pourcent du combustible réservé pour les transports, alors qu'elles ne déplacent que 50 pourcent des pass-km.

La demande d'énergie en perspective (voir tableau 3) se base sur des prévisions du transport public et individuel tout en supposant un rendement constant du véhicule jusqu'en 1990. Nous notons que la demande de transport (pass-km) a augmenté d'un taux annuel de 7.5% durant les cinq dernières années. Selon Obras Publicas, il y a eu une augmentation du nombre de passagers ou de demande de transports publics de 4.3% par an. A titre de simplification, il faut supposer que le rendement du combustible reste inchangé pour chaque mode de transport d'ici à 1990.

Afin de pouvoir répondre à la demande croissante de voyages, le gouvernement Dominicain a décidé de remplacer 30 pourcent des taxis par des minibus. Les mini-bus Datsun à moteur diesel transportent 22 passagers et ont un taux de rendement du combustible de 19 km/gal , soit 10 500 pass-km par BEP si le facteur de charge est de 60%. Le tableau 3 montre la quantité de combustible consommée par ces mini-bus qui répondent actuellement à 30% de la demande de transport public. Il est intéressant de noter que la quantité de combustible exigée pour le parcours passager baisse de 1190 mille BEP à 1150 mille BEP, ce qui n'est qu'une faible différence.

D'autres mesures d'économies d'énergie promettent plus d'efficacité. Ainsi, par example, l'augmentation des tarifs douaniers sur les voitures,[2] ou même l'interdiction d'en importer,[3] réduiraient de façon spectaculaire les voyages en voiture particulière. Si un tel programme est mis en oeuvre dès la mi-1980 et en prenant en considération l'augmentation annuelle de 4% des immatriculations d'automobiles, une politique énergétique de ce type incitera à une réduction du 1/3 des voyages en voiture particulière et à une économie d'énergie de 20% par rapport à l'ensemble du secteur des transports.

Alors que la limitation des importations de voitures semble être très efficace du point de vue réduction de la demande de combustible, une analyse plus approfondie révèle qu'il n'est pas suffisant de simplement compter le nombre de BEP économisés pour évaluer l'effet de telles mesures d'économies d'énergie. Dans notre example de la République Dominicaine, on note que 190 mille TEP seront économisés; or il est important de noter que la demande d'essence (pour voitures) serait de 250 mille BEP d'essence (pour voitures) alors que la demande de diesel-oil (pour mini-bus) augmenterait de 60 mille BEP. Comme la République Dominicaine opère une raffinerie de pétrole, ce déplacement du type de combustible créerait un certain deséquilibre. La valeur réelle des économies d'énergie réalisées par moyen de limitations de l'importation de voitures ne pourrait être déterminée si ce facteur n'est pas soupesé.

3.2 Evaluation économique

Une estimation économique de l'impact des mesures d'économies d'énergie doit examiner bien plus que seul les économies d'énergie. En effet, alors que des devises étrangères peuvent être économisés ainsi, ce qui contribue d'ailleurs à l'amélioration de la balance des paiements, il faut compter avec des dépenses supplémentaires pour la prise de mesures de contrôle. Selon l'étude conduite dans la République Dominicaine, une politique limitant l'importation d'automobiles n'est raisonnable que si elle est faite en concertation avec l'expansion du parc de mini-bus pour le transport du nombre excédent de passagers. Dans ce cas, il faudrait ajouter 2900 mini-bus ce qui exigerait des investissements de 40 millions de dollars U.S.

Alors que les tarifs subventionnés des transports publics contribuent au recouvrement des coûts opératoires, les investissements de capitaux (tel que les dépenses pour 2900 mini-bus) sont remboursés par des économies de combustible qui sont ressenties au niveau du gouvernement (tableau 5). Dans

Tableau 5: Analyse Economique

Limitations de l'importation de minibus et voitures particulières

Dépenses initiales	2900 véhicules à \$13 000/unité[1]	= 40 millions[2]
Economies d'énergie	230 mille BEP à \$34/baril[3]	= 7.8 millions
	Taux de rentabilité (10 ans)	= 15 pourcent

---

[1] Prix en Dollars du mini-bus diesel Datsun pour 22 personnes en été 1982.

[2] Des économies supplémentaires en devises étrangères de \$190 millions sur une période de dix ans pourraient être réalisées si des mesures gouvernementales décourageaient l'achat de 29 000 voitures particulières.

[3] Platts' Oilgram: Prix f.o.b. Rotterdam du 1er Octobre 1982.

cet example, le taux de rentabilité d'une politique limitant l'importation de voitures tout en élargissent les transports publics, est de 15 pourcent par an. A cela il faut ajouter (et cela n'a pas été inclu dans l'étude) que les devises étrangères ainsi économisées viennent contribuer à l'amélioration de la balance des paiements.

L'évaluation économique selon cette étude de cas est évidemment une simplification de la réalité. En pratique, il faudrait examiner de plus près les coûts opératoires des transports publics et la tarification pour obtenir un tableau plus complet des dépenses et recettes. Les proportions différentes des types de combustible utilisé, c'est à dire le passage de l'essence au diesel-oil, pourrait avoir des effets très marqués sur les raffineries du pays. Finalement, les prix du fuel-oil sont contrôlés par le gouvernement, subventionnés pour les uns, mais avec surtaxe pour les autres, ceci à des fins sociales. Une évaluation économique plus complète devrait inclure une analyse des effets distributionnels des mesures d'économies d'énergie.

4. COMMENTAIRE

L'analyse des mesures d'économies d'énergie a donné des résultats

quantitatifs et de l'information qualitative qui permettent aux responsables des gouvernements de prendre des décisions après avoir soupesé les mérites de chaque alternative. Dans la République Dominicaine, les économies d'énergie et leur valeur économique directement liées à la réduction du nombre de voitures, se sont avérées importantes. Mais en dépit du fait que ces économies d'énergie sont très séduisantes, des mesures telles que l'augmentation des tarifs douaniers sur l'importation d'automobiles, la limitation du nombre de voitures importées, et/ou des prix d'essence majorés, peuvent se heurter au climat politique et social qui règne dans un pays. Ainsi, l'augmentation du prix de l'essence a provoqué des émeutes en Egypte. En résumé, alors que l'analyse identifie les meilleures options, c'est aux responsables de la planification de choisir l'alternative qui pourra être mise en oeuvre avec succès.

REFERENCES

TRANSPORTS:

1. N. Clark, J. Lee, & K. Ogden. "The Use of Energy for Personal Mobility" (l'Usage de l'énergie pour la mobilité personnelle), Transportation Research 8, 399 (Pergamon Press, 1974).

2. "Urban Transport - Sector Policy Paper", la Banque Mondiale (Washington, D.C.), May 1975.

3. B. Chatelin. "Patterns of Transportation and Energy" (Configuration des Transports et de l'Energie), Energy Management Training Program Monogram, SUNY, Stony Brook (1979).

4. W. Owens "Energy Use in Transportation" (Utilisation de l'énergie dans les transports), Energy Management Training Program, SUNY, Stony Brook (1979).

5. T.O. Carroll, et al. "A Systems View of Energy and Land Use" (Analyse de l'aménagement du territoire et de l'utilisation d'énergie, vu comme un système) IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics SMC-7 (4), 256, April 1977.

6. L. Unikel, "El Desarollo Urbano de México" (le Développement Urbain du Méxique), El Colegio de Mexico (1976).

7. S.S. Remmer & L. Icerman, Energy 0.I (Addison-Wesley Publication Co., Reading, Ma., 1974).

8. R. Sawhill, J. Matteson, and J. Hall "Vehicle Characteristics of Fuel and Travel Time on Urban Arterials and Freeways" (Caractéristiques véhiculaires du combustible et du temps de parcours sur les voies routières urbaines), Committee on Vehicle Characteristics, 49th Annual Meeting, U.S. Transportation Research Board.

9. "Singapore Mass Transit Study" (Etude des transports publics de Singapour), Wilbur Smith and Assoc. (1974).

10. W. Brog. "Subjective Perception of Car Costs" (Perception subjectice du coût des voitures), Transportation Research Record No. 858, Committee on Passenger and Freight Transportation Characteristics, U.S. Transportation Research Board.

11. T.O. Carroll and E. Udell. "Solar Energy, Land Use, and Urban Form" (Energie solaire, aménagement du territoire, et forme urbaine) dans R. Burchell and D. Listokin Energy and Land Use (Rutgers University Press, New Jersey, 1982).

12. Voir référence 7

13. "Interagency Study of Post-1980 Goals for Commercial Vehicles" (Etude inter-agencière des objectifs à viser pour les véhicules commerciaux après 1980), U.S. Department of Transportation (July 1976).

14. Transportation Department, La Banque Mondiale (1979).

ENERGIE UTILISEE PAR LES TRANSPORTS: UNE ETUDE DE CAS

1. La plupart des données paraissant dans cette étude cas proviennent du rapport "Energy Strategies for the Dominican Republic" (Stratégies énergétiques pour la République Dominicaine) de la Comision National de Politica Energética, République Dominicaine (Septembre 1980).

2. Les frais de douane sont actuellement de 35%, alors qu'en Colombie, ils s'élèvent à 350%.

3. De telles interdictions existent dans plusieurs pays.

4. Voir section 4 de la partie "Transports", figure 4.

SECTION 7

REFERENCES

Previous Page Blank

REFERENCES

Anandalingam, G., and Jhirad, David J. "Analytic Tools for Techno-economic Assessments of Industrial Energy Efficiency in Developing Countries," BNL 32251, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, 1982.

American Institute of Physics. "Efficient Use of Energy," Am. Inst. Physics Conference Proceedings No. 25, New York, 1975.

Bright, R., Davitian, H., and Martorella, J., "The Avoided Costs Associated with Cogeneration: A Case Study of Con Ed," BNL 51269, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, August 1980.

Brown, S. P. A., and Anandalingam, G. "Economic Analysis of Tax Credit Incentives for Business Investment in Energy Conservation and Production," BNL-51526, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, December 1981.

Chiogioji, M. H. Industrial Energy Conservation, Marcel Dekker, New York, 1979.

Desai, A. V. "Interfuel Substitution in the Indian Economy," Draft, Resources for the Future, Washington, DC, March 1980.

Economic Commission for Western Asia. "Energy Conservation in the ECWA Region: Prospects and Possible Lines of Action," Proceedings of the Fourth Session of the ACC Technical Energy Group, United Nations, New York, 13-15 December 1982.

E/DI Europe. "Industrial Energy Study for Tunisia," prepared for the Office of Energy, U.S. Agency for International Development, Washington, DC, September 1982.

Garrigues, Claude. "Le Potentiel d'Economie d'Energique au Sénégal," draft prepared for the World Bank, Washington, DC, July 1982.

Gyptopoulos, E. P., Lazaridis, L. J., Widmer, T. F., Potential Fuel Effectiveness in Industry, Ballinger, Cambridge, Mass, 1974.

Gyptopoulos, Elias P., and Widmer, Thomas. "Cost Effective Waste Energy Utilization," Annual Review of Energy, pp. 293-327, Annual Reviews, Inc., Palo Alto, California, 1982.

Howe, S. O., Pilati, D. A., and Sparrow, F. T. "Process Modeling and Industrial Energy Use," BNL 28838, Brookhaven National Laboratory, NY, 1980.

Iwayemi, Akin. "Energy in West Africa: Issues and Policy Approaches," Energy Policy, pp. 235-249, Sept. 1983.

Jankowski, John E., Jr. "Industrial Energy Demand in Developing Countries," Discussion Paper D-73A, Washington, DC, Resources for the Future.

Previous Page Blank

Jhirad, David, and Ogunmakin, Victor. "The Potential for Energy Efficiency and Substitution in Developing Countries: Case Studies of Brazil and Nigeria," Proceedings of the Fourth Session of the ACC Technical Energy Group, United Nations, New York, 13-15 December 1982.

Jhirad, David, and Rutter, William. "Renewable Energy in Brazil: Opportunities, Barriers, and Remedies," BNL 51527, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY March 1982.

Koshel, P., Allen, E. L., Cecelski, F., Dougher, R., and Ring, L. Opportunity for Energy Conservation in the Developing Countries. Report No. ORAU/IEA-81-1(M), Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Associated Universities, TN, March 1981.

Kumasaka, Yozo, and Llamas, Felice. "Energy Efficiency in the Japanese Economy 1965-80: An Econometric Analysis," Proceedings of the Fourth Session of the ACC Technical Energy Group, United Nations, New York, 13-15 December 1982.

Latin American Energy Organization (OLADE), Energy Conservation and Oil Substitution in Latin America," Proceedings of the Fourth Session of the ACC Technical Energy Group, United Nations, New York, 13-15 December 1982.

Limaye, D. R., Isser, S., Hinkle, B., and Friedman, N. R. "Industrial Cogeneration Case Studies," EPRI EM-1531, Electric Power Research Institute, September 1980.

Little, I. M. D., and Mirrlees, J. A. Project Appraisal and Planning for Developing Countrie, Heinemann Educational Books. London, 1974.

Munasinghe, Mohan. "Third World Energy Policies: Demand Management and Conservation," Energy Policy, pp. 4-18, March 1983.

Munasinghe, Mohan, and Scott, Walter, 1982. "Energy Efficiency, Optimization of Electric Power Distribution System Losses," Energy Department Paper No. 6 Washington DC/The World Bank, 1982.

Noll, Scott A. "Transportation Energy Conservation in Developing Countries, Discussion Paper D-73K, Washington, DC, Resources for the Future, 1982.

Pauker, Guy J., ed. "Energy Efficiency and Conservation in the Asia-Pacific Region," Energy, The International Journal, 8, No. 1-2, Jan.-Feb. 1983.

Phong, Doan L., and coauthors. "Assessment of Industrial Energy Conservation by Unit Processes," Technical Report, Oak Ridge, Tennessee, Institute of Energy Analysis, 1979.

Poole, Alan. "Energy and Transport in Brazil," Resources for the Future, Washington, DC, January 1983.

Economic Community of West African States. Proceedings: Economic Community of West African States (ECOWAS) Energy Symposium: Energy for Survival, Freetown, Sierra Leone, National Academy Press, Washington, DC, 1982.

Near East Bureau. Agency for International Development. Proceedings: Documentation du Seminaire, La Gestion de l'Energie dans le Batiment et dans les Hotels. Tunis, 11-16 Janvier, 1982, Washington, DC, 1982.

Samuels, G., Rose, A., Greene, David. Hocker, J. "Energy Conservation in Transportation," Advances in Energy Systems and Technology, Vol. 3, ed., P. Auer, Academic Press, New York, 1982.

Schipper, Lee, and coauthors. "Energy Conservation in Kenya's Modern Sector. Progress, Potential, and Problems," Discussion Paper D-731, Washington, DC, Resources for the Future, 1982.

Schipper, Lee, and Meyers, Stephen. "Energy Conservation in Kenya's Modern Sector, Issues and Policy Approaches," Energy Policy, pp. 225-234, September 1983.

Syed, S. "Energy and the Post-Harvest Food Systems in the Developing Countries: Current Use, Saving and Substitution Potential," Proceedings of the Fourth Session of the ACC Technical Energy Group, United Nations, New York, 13-15 December 1982.

United Nations Industrial Development Organization. Guide to Practical Project Appraisal, United Nations, New York, 1978.

United Nations Industrial Development Organization. Guidelines for Project Evaluation, United Nations, New York, 1972.

United States Department of Energy. "Instructions for Energy Auditors," Report No. DOE/CS-0135, Washington, DC.

Van Gool, Willem. "Fundamental Aspects of Energy Conservation Policy," Energy 5, 429-444, 1979.

Wackman, Harold. "Energy Efficiency in Less Developed Countries," Proceedings of the Fourth Session of the ACC Technical Energy Group, United Nations, New York, 13-15 December 1982.

World Bank. "Energy in the Developing Countries," Washington, DC, 1980.

World Bank. "The Energy Transition in Developing Contries," Washington, DC, August 1983.

World Bank. "The Joint UNDP/World Bank Energy Sector Assessment Programme and Energy Sector Management Programme," Washington, DC, November 1982.

World Bank. World Development Report, Oxford University Press, 1982.

ANNEXE A

LISTE DES PARTICIPANTS

Previous Page Blank

BENIN

Godjnou, Christophe
Administrateur Civil
Ministere de l'Industrie
B.P. 363, Cotonou.

Bara, Amidou
Directeur de l'Electricite a la SBEE
B.P. 123, Cotonou.

GAMBIA

Taal Amadou, S. O.
Economist/Planner
Ministry of Economic Planning and
Industrial Development
Banjul

Colley, Mustapha B.
Mechanical Engineer
G.B.M.B. Oil Mills, No. 1
Dentonbridge
P.O. Box 284
Banjul.

GHANA

Okpoti, Joseph Sowa
Director of Power Operations
Volta River Authority
P.O. Box M77
Accra.

GUINEA

Keita, Sakoba
Professor
Ministere de la Cooperation
Internationale
Division Cedeao
Conakry

Diallo, Alpha Oumar
Directeur
Divison Energie Hydraulique et
Thermique
Ministere de l'Energie,
Conakry.

GUINEA BISSAO

Menezes D'Alva, Henrique
Engineer
Chef du Department sur l'Energie
Nouvelle et Renouvellable
Instituto Nacional de Nercia
INE B.P. 311
Bissau.

UPPER VOLTA

Some Dele, Gabriel
Ingenieur/Economiste Stagiaire
VOLTELEC
B.P. 54
Binger, Ouagadougou.

Ouedrago Razougou, Patrice
Conseiller des Affaires
Economiques
B.P. 258
Ouagadougou.

IVORY COAST

Anguie Anguie
Charge d'Etudes
B.P. V.65, Abidjan.

MALI

Arsike Ba
Chef Production
Energie du Mali
B.P. 69, Bamako

Camara Bouba
Chef de la Division Energie et
Barrages
Direction National de
l'Hydraulique et de 'Energie
B.P. 66, Bamako

MAURITANIA

Ba Adama
Chef, Division des Travaux
Sonelec, Nouakchott, B.P.355.

Previous Page Blank

NIGER

Djibo Abdou Karimou
Directeur Equipement, Production et Transport
Nigeleo
B.P. 11202
Niamey.

NIGERIA

Coker, A. J.
Assistant Director (Energy)
Ministry of Science and Technology
Industrial Science and Energy Department
Lagos.

SENEGAL

Toure Seila
Ingenieur Electronicien
Direction Energie
Ministere du Developpement Industriel et de l'Artisanat
Dakar

Diop Abraham
Ingenieur Electronicien
Direction Energie
Ministere du Developpement Industriel et de l'Artisanat
Dakar.

SIERRA LEONE

Ogunlade Robert Davidson
Department of Mechanical Engineering
F.B.C.
Freetown

Sylvanus Simeon Labor
National Power Authority
Private Mail Bag
Freetown.

TOGO

Kerim Bangara
Laboratoire de Recherche sur L'Energie Solaire
U.Benin, B.P. 1515
Lome

Djeri Koffi
Ingenieur Electricien, OTP
B.P. 379
Lome

Adaba Kodzo
Chef Service Planification et Equipement
B.P. 42, CEET
Lome

Fare K. I.
Ingenieur Hydraulicien
Direction de l'Hydraulique et de l'Energie. B.P. 335
Lome

Yao Amefia
Directeur de Cabinet
Ministere des Travaux Publics, Energie et des Ressources Hydrauliques
Lome

Kadzo Laban
Technical Advisor
Ministry of Economy and Finance
Lome

Agbebe G. Kwami
Directeur des Etudes et Recherche
B.P. 42, CEET, Lome

Lawson Aze
B.P. 1365, Lome

Sade Koffi
B.P. 335, Lome

Dagba Cocou
B.P. 1368, Lome.

INTERNATIONAL ORGANISATIONS

USAID

David L. Rhoad
Deputy Director
Office for Energy and Natural Resources, USAID
Washington, DC, USA

Ronald A. Rogers
Project Officer
REDSO/West Africa, USAID
Abidjan
Ivory Coast

Hugh Papworth
Energy Advisor, USAID
Abidjan
Ivory Coast

Phillippe Simonis
BMZ/GTZ, Energy Team
Coive, B.P. 5321
Ouagadougou
Haute Volta.

SEMINAR LECTURERS AND SPEAKERS

David J. Jhirad
Director
International Energy Program
Building 475
Brookhaven National Laboratory
Upton, New York 11973
Tel. 516-282-2403
Telex: 96-7703

David B. Brooks
Marbek Resource Consultants
407-2211 Riverside Drive
Ottawa KIH 7X5, Canada
Tel. 613-523-0784

T. Owen Carroll
Associate Research Professor
Institute for Energy Research
State University of New York at Stony Brook
Stony Brook, NY 11794, USA.
Tel. 516-246-8284

Richard B. Curtis
President, Aerolithos Inc.
4175 George Avenue
Box 3464
San Mateo, CA 94403, USA
Tel. 415-575-5969

Claude Garrigues
SEMA Energie
16-18 rue Barbes
92126 Montrouge Cedex
France

Richard Leigh
Department of Applied Science
Brookhaven National Laboratory
Upton, New York 11973, USA
Tel. 516-282-2030
Telex: 96-7703

Asif Shaikh
Vice President
Energy/Development International
Suite 428, 1110 Vermont Av., NW
Washington, DC 20005, USA
Tel. 202-822-8817
Telex: 89615 HAI WSH
and
Project Manager
Energy Initiatives for Africa
11, rue Paris Village
ABidjan-Plateau
06 BP 388 Abidjan 06
Ivory Coast
Tel. 32-58-13, 32-55-19
Telex: 3292 R.C.52427 (ATTN:REFOS)

H. N. Sharan
Sharan Engineering Ltd.
Riedhofstrasse 45
CH-8408 Winterthur
Switzerland
Tel. 052-25-22-27
Telex: 76299 TXKAB CH

Paul H. Shoun
Chief
Power Operations Planning Staff
700 Chestnut Street
Chattanooga, TN 37401, USA
Tel. 615-751-3695

SEMINAR LECTURERS, CONT.

Barry G. Tunnah
Director, E/DI Europe Ltd.
8, Cavendish Place
London 9DJ, England
Tel. 01-636-6938
Telex: 23152 MONREF G.

OTHER AFFILIATIONS

Michael Dow
Associate Director
National Academy of Sciences
2101 Constitution Avenue
Washington, DC 20418, USA
Tel. 202-334-2634

Robert Gordon
Deputy Director
Conventional Energy Training Project
Institute of International Education
981 Sixteenth Street, NW
Washington, DC 20006, USA
Tel. 202-775-5920

Betsey J. Horsmon
Assistant Washington Representative
for International Activities
Tennessee Valley Authority
Washington, DC 20444, USA
Tel. 202-245-0101

Nancy O'Meara
Conference Coordinator
The Institute for Energy Research
State University of New York at
Stony Brook
Stony Brook, NY 11974, USA

Doris Kirsch
Margaret Mark
Carol Wolter
Languages Services
OPR/LS, Room 2208 NS
U.S. Department of State
Washington, DC 20520, USA
Tel. 202-632-3492

CEDEAO/ECOWAS SECRETARIAT
6, King George V Road
PMB 12745, Lagos, Nigeria
Tel. 243-1-63-68-41
243-1-63-68-39
Telex: 22633 ECOWAS NG

D. T. Sakho
Secretaire Executif Adjoint
Affaires Economiques

J. A. Eghagha
Director, Administration

Daniel R. W. Faux
Director, Transport,
Telecommunications, and Energy

Mensah Dote
Charge des Relations avec la
Presse

Zaklu Kodzo Gunubu
Principal Officer, Transport

J. E . A. Mamu
Director, Economic Research

ECOWAS FUND/FONDS CEDEAO
P.O. Box 2704, Lome, Togo
Tel. 21-68-84
Telex: 5339

Robert Tubman
Managing Director
Lome, Togo
Tel. 21-28-84

Josiah Brown
Economist/Statistician
Department of Studies and Economic
Analyses

Dunstanette L. D. M. Homawoo
Head of Conference and Public
Relations.

NEWS AGENCY OF NIGERIA

Lawal Clufunke
Journalist, News Agency of Nigeria
Igamnu, Lagos, Nigeria.

ANNEXE B

PROGRAMME

ANNEXE B

CONFERENCE INTERNATIONALE SUR L'EFFICACITE ET LA CONSERVATION DE L'ENERGIE

HOTEL DEUX FEVRIER, LOME, TOGO

30 mars-8 avril, 1983

PROGRAMME

Le mardi 29 mars, 1983	Arrivée et Inscriptions
le mercredi 30 mars, 1983	
9:00	Inscriptions
10:00-11:00	Accueil Dr. David J. Jhirad, Directeur de la Conférence Mr. David Rhoad, l'Agence pour le Développement International (USAID) Dr. T. Sakho, Représentant de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest (ECOWAS) Le Ministre des Travaux Publiques, des Mines, de l'Energie, et des Ressources Hydrauliques, du Gouvernement du Togo
11:00-11:30	TEMPS LIBRE
11:30-12:15	Les Buts de la Conférence L'Importance Internationale de l'Efficacité Energétique Dr. David J. Jhirad, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973, USA
12:15-13:00	Coûts et Bénéfices de la Conservation de l'Energie Industrielle dans les Pays en Voie de Développement M. Barry G. Tunnah, E/DI Europe, Ltd., London, England
13:00-15:00	DEJEUNER
15:00-15:45	Examen de la Situation Energétique aux Pays de l'Afrique de l'Ouest Des représentants de l'ECOWAS et M. Asif Shaikh, E/DI, Washington, DC, USA
15:45-16:30	TEMPS LIBRE
16:30-18:00	L'Efficacité Energétique comme Elément Important de la Stratégie de l'Afrique de l'Ouest M. Claude Garrigues, Consultant d'Energie, Le Pecq, France
18:30	Reception offerte par l'Institute for Energy Research de l'Université de l'Etat de New York à Stony Brook. Le Soleil Bar, auprès de la piscine.

Previous Page Blank

le jeudi 31 mars, 1983

9:30-11:00	Etudes des Cas Specifiques de l'Efficacité Energétique: la Tunisie et le Togo M. Barry Tunnah
11:00-11:30	TEMPS LIBRE
11:30-13:00	Etudes des Cas Spécifiques de l'Efficacité Energétique: le Sénégal et le Maroc M. Claude Garrigues
13:00-15:00	DEJEUNER
15:00-15:45	Etudes de Cas Spécifiques de l'Efficacité Energétique dans les Secteurs de l'Industrie et de l'Energie Dr. H. N. Sharan, Sharan Engineering Ltd., Winterthur, Switzerland
15:45-16:30	Etudes des Cas Spécifiques de l'Efficacité Energétique dans le Bâtiment Dr. Richard B. Curtis, Lawrence Berkeley Laboratory and Aerolithos, Inc., San Mateo, California
16:30-16:45	PAUSE
16:45-18:00	Le Bâtiment et le Réseau de Service Electrique: les Entreprises Dr. Richard W. Leigh, Brookhaven National Laboratory, New York, USA

le vendredi 1 avril, 1983

9:30-11:00	Etude des Cas Spécifiques de l'Efficacité Energétique au Système de Transport à Dakar, Sénégal M. Claude Garrigues
11:00-11:30	TEMPS LIBRE
11:30-13:00	L'Efficacité Energétique au Système de Transport Groupe de Déliberation
13:00-15:00	DEJEUNER
15:00-16:15	L'Utilization du Bois de Chauffage à l'Afrique de l'Ouest Dr. H. Sharon, M. Philippe Simonis, M. Asif Shaikh
16:15-16:30	PAUSE

le vendredi 1 avril, 1983
(suite)

16:30-18:00	Le Financement des Projets de l'Efficacité Energétique en Afrique de l'Ouest: les Activités des Agences d'Assistance Bilaterales M. Asif Shaikh; M. David Rhoad

le samedi 2 avril, 1983

9:30-11:00	Entretien Préventif au Secteur des Services Electriques, l'Exemple de la Tennessee Valley Authority (TVA) M. Paul H. Shoun, Chef, Power Operations Planning Staff, Tennessee Valley Authority, Chattanooga, Tennessee. USA
11:00-11:30	TEMPS LIBRE
11:30-13:00	Discussion de l'Excursion Prévue à une Usine des Phospates M. Barry Tunnah
13:00-15:00	DEJEUNER
15:00-16:30	Des Filmes sur la Technologie de l'Energie

le lundi 4 avril, 1983

	Excursion à l'Usine des Phosphates M. Barry Tunnah
8:30	Départ des autobus de l' Hôtel Deux Février
18:00	Retour des autobus à l'Hôtel Deux Février

le mardi 5 avril, 1983

9:30-11:00	Evaluation de l'Excursion M. Barry Tunnah, M. Claude Garrigues
11:00-11:30	TEMPS LIBRE
11:30-12:15	Analyse de l'Efficacité Energétique aux Systèmes Electriques Dr. H. N. Sharan
12:15-13:00	Des Technologies pour la Récuperation de l'Energie Perdue à l'Industrie Dr. David J. Jhirad
13:00-15:00	DEJEUNER

le mardi 5 avril, 1983
(suite)

15:00-15:45	Analyse de l'Efficacité Energétique aux Bâtiments Dr. Richard B. Curtis
15:45-16:45	TEMPS LIBRE
16:45-18:00	Les Bâtiments et les Utilités Electriques: la Climatisation Dr. Richard Leigh

le mercredi 6 avril, 1983

9:30-11:00	Analyse de l'Efficacité Energétique au Transport M. Claude Garrigues
11:00-11:30	TEMPS LIBRE
11:30-13:00	Efficacité Energétique au Transport: Analyse et Etude des Cas Spécifiques Dr. T. Owen Carroll, Institute for Energy Research, Université de l'Etat de New York à Stony Brook, N.Y.
13:00-15:00	DEJEUNER
15:00-18:00	Les Bâtiments et les Utilités Electriques: la Cogeneration Dr. Richard Leigh

le jeudi 7 avril, 1983

9:30-10:15	Analyse Financière des Mesures de l'Efficacité de l'Energie du point de vue de l'Entreprise M. Barry Tunnah
10:15-11:00	L'Analyse Financière et le Rôle du Stimulant du Gouvernement Dr. David Jhirad
11:00-11:30	TEMPS LIBRE
11:30-13:00	Groupe de Déliberation Analyse Economique et Politique des Mesures de l'Efficacité de l'Energie d'une Perspective Nationale L'Experience Internationale des Stratégies Effectives pour la Gestion de la Demande Energétique Dr. David Jhirad, Dr. David Brookes

le jeudi 7 avril, 1983
(suite)

13:00-15:00	DEJEUNER
16:30-16:45	Des Conclusions, des Recommendations Groupe de Déliberation
16:45-18:00	Groupe de Déliberation (suite)

Friday, April 8, 1983

9:30	Ceremonie d'Adieu Mr. Robert Tubman, M. Y. Amefia, Dr. David Jhirad.

ANNEXE C

LISTE DU MATERIEL SUPPLEMENTAIRE DISTRIBUE AU SEMINAIRE

Previous Page Blank

ANNEXE C

LISTE DU MATERIEL SUPPLEMENTAIRE DISTRIBUE AU SEMINAIRE

1. Africa Bureau, Office of Regional Affairs, Agency for International Development, Guidelines for Preparing and Approving Energy Initiatives for Africa (ETA) Project Activities (In English and French).

2. G. Anandalingam and David J. Jhirad, Analytic Tools for Techno-Economic Assessments of Industrial Energy Efficiency in Developing Countries.

3. G. Anandalingam, D.J. Jhirad, V. Mubayi, and J. Weingart, An Analysis of Incentives for Industrial Investment in Solar Energy in Developing Countries.

4. Energy Management Training Program for Developing Countries (EMTP) 1983 Program Brochures (in English and French).

5. ENERSAVE: For Industry and Commerce, a series of ten handbooks on various aspects of energy conservation, produced by the Office of Energy Conservation, Ministry of Energy, Mines and Resources, Government of Canada (in English and French).

6. Identifying Energy Conservation Options Using the Cost of Conserved Energy Methodology in the Residential Sector, adapted by Lee Schipper from a paper by Alan Meier, Janice Wright, and Arthur H. Rosenfeld.

7. Identification des choix en matiere d'economie d'energie: cout des mesures d'economies dans le secteur residentiel. (French version of Item 6).

8. Lee Schipper, Notes on Energy Management in Hotels.

9. Lee Schipper, Notes sur la gestion de l'energie dans les hotels.

10. Lee Schipper and Stephen Meyers, Energy Conservation in Kenya's Modern Sector: Progress, Potential and Problems.

11. Proceedings of the Economic Community of West African States (ECOWAS) Energy Symposium: Energy for Survival. Freetown, November 2-6, 1981, National Academy of Sciences.

Previous Page Blank

ANNEXE D

MATERIEL DE L'OFFICE TOGOLAIS DES PHOSPHATES

Previous Page Blank

OFFICE TOGOLAIS DES PHOSPHATES (O.T.P.)
(Ex-COMPAGNIE TOGOLAISE DES MINES DU BENIN)

Siège Social: KPEME (Togo)
Adresse: Boîte Postale 379, LOME (Togo)
Téléphone: 21-39-01 et 21-32-38
Adresse Télégraphique: PHOSPHAT - LOME
TELEX: 5214 PHOSFAT.TO et 5287 OTP.TO

LE TOGO

Le Togo s'étend sur 56 000 km^2 entre le Bénin à l'Est, le Ghana à l'Ouest et la Haute-Volta au Nord. Sa côte est baignée par le Golfe de Guinée. Lomé, la capitale, regroupe 400 000 environ des 2 500 000 habitants du Togo.

Au Nord du pays, d'immenses plateaux montagneux recouverts de savanes herbeuses; au Sud, une vaste zone cultivée où alternent manguiers, fromagers et palmiers et qui se termine par une imposante cocoteraie. Les Togolais pratiquent l'élevage, la culture du cacao, du café, du manioc, etc. Par sa situation à la charnière de l'Afrique Occidentale et de l'Afrique Equatoriale, le Togo est le centre d'un commerce international important. Mais c'est aussi un pays qui a eu la sagesse de se doter d'une législation garantissant les investissements privés, permettant ainsi le développement d'une industrie prospère et en pleine expansion. Les phosphates constituent sa principale ressource minière et apportent leur contribution à l'essor économique du pays.

LA MINE DE PHOSPHATE

En 1952, les premières recherches de phosphates au Togo aboutissaient à la découverte d'échantillons intéressants. La suite des travaux de recherches devait permettre de situer un gisement sédimentire étendu évalué à plus de 130 millions de tonnes marchandes à haut titre.

En 1954, à la suite de l'étude géologique, de la mise au point de procédés d'enrichissement et des essais de traitement semi-industriel, la Société Minière du Bénin était constituée.

Sa raison sociale devient en 1957: Compagnie Togolaise des Mines du Bénin.

Previous Page Blank

Le 4 Février 1974, la Compagnie Togolaise des Mines du Bénin (C.T.M.B.) est devenue une Société Nationale au capital social de 3 621 720 000 Francs CFA entièrement souscrit par l'Etat Togolais.

Depuis 1980, elle a pris le nom d'Office Togolais des Phosphates (O.T.P.) qui regroupe désormais la production et la commercialisation du phosphate.

En 1970, la production s'élevait à 1'508'189 tonnes; elle s'élevait en 1971 à 1 715 314 tonnes; en 1972 à 1 927 604 tonnes; en 1973 à 2 272 161 t; en 1974 à 2 552 854 tonnes; en 1975 à 1 160 502 tonnes; en 1976 à 2 068 072 t; en 1977 à 2 857 005 tonnes; en 1978 à 2 826 614 tonnes; en 1979 à 2 915 811 t.

En 1980, la production s'est élevée à 2 932 845 tonnes.

L'extension de la production des deux Sièges de la Carrière actuellement exploités, l'augmentation de la capacité de transport de la voie ferrée et des aires de stockage, et la mise en place d'une 5ème chaîne de traitement à Kpémé, doivent permettre une production de 3 600 000 tonnes pour l'exportation, si la conjoncture le permet.

En outre, un projet visant à la transformation sur place de 1'000'000 de tonnes supplémentaires est à l'étude.

LE GISEMENT

Distant de la mer de 10 à 30 km suivant les endroits, le gisement mis en valeur par l'Office Togolais des Phosphates (Ex-C.T.M.B.) appartient à une formation tertiaire (yprésien) du bassin sédimentaire côtier du Togo.

2 à 6 mètres, telle est l'épaisseur de la couche sub-horizontale de phosphate sableux argileux dont est constitué le gisement. Les morts terrains qui le recouvrent (terre de barre et sables argileux) ont une épaisseur variant de 7 à 30 mètres.

Le minerai brut est susceptible de donner par débourbage et lavage un minerai marchand de la qualité 78/80% de phosphate tricalcique sur matière sèche, ainsi que, dans l'avenir, un minerai 76/78%.

L'EXTRACTION

Sur les deux carrières à ciel ouvert de HAHOTOE et de KPOGAME, la longueur du front de taille est comprise entre 800 et 1500 mètres.

Des roues-pelles sur chenilles excavent chacune de 550 à 1000 m^3/h de

morts terrains et les rejettent en arrière du front de taille par des remblayeurs alimentés directement ou par l'intermédiaire de convoyeurs.

C'est au rythme de 900 tonnes/heure que le minerai brut est extrait par d'autres roues-pelles travaillant en fond de fouille. Des convoyeurs à bande le transportent alors jusqu'à la stetion de chargement sur wagons.

Des rames de 36 wagons autodéchargeurs d'une capacité de 25 tonnes chacun, tractées par des locomotives Diesel-électriques de 1200 CV acheminent le minerai brut de la Carrière à la Laverie sur 30 km de voies ferrées. Un pont de 720 mètres qui constitue une très belle réalisation technique permet le franchissement de la lagune. Ce complexe ferroviaire appartient entièrement à l'Office.

LE TRAITEMENT

Il est effectué au Centre Industriel de Kpémé, sur le littoral, à 35 km à l'Est de Lomé.

Le minerai (phosphate brut) est d'abord déposé sur une aire de déchargement puis repris et dirigé par convoyeurs à bande, soit vers l'usine de traitement soit vers un stock intermédiaire (capacité de ce stock: 250'000 tonnes).

L'usine est constituée de cinq chaînes d'enrichissement.

Le débit de minerai admis à l'entrée de chaque chaîne est de 174 tonnes/heures.

Le phosphate brut contenant entre 25 et 40% d'argile est mis en pulpe. Le délitage s'effectue avec de l'eau de mer pompée à 400 m du rivage de la barre.

La pulpe subit deux coupures:

- une coupure haute (à 3 mm) sur cribles, permettant l'élimination de "grosses" particules;
- une coupure basse (à 45 μ environ) dans des hydrocyclones, pour l'élimination des particules fines constituant la gangue argileuse.

Le phosphate "marchand" est obtenu par rinçage à l'eau douce, essorage puis séchage.

Après séchage, lorsque la teneur en (Fe_2O_3 + Al_2O_3) dépasse 2.5%, les oxydes de fer sont éliminés par des séparateurs électromagnétiques.

LE CHARGEMENT

Le phosphate marchand est stocké dans deux hangars d'une capacité de 190'000 tonnes.

Un convoyeur à bande supporté par un Wharf métallique de 1200 m de long, construit spécialement pour l'Office, achemine le produit jusqu'à la passerelle de chargement.

Pesage et échantillonnage sont automatiques.

La cadence de chargement est de 2500 tonnes/heure.

La rade de Kpémé peut permettre le chargement de minéraliers de 50 000 tonnes de port en lourd et de 38 pieds de tirant d'eau.

Un sea-line permet le déchargement de tankers venant ravitailler l'Office en produits pétroliers.

ANALYSE CHIMIQUE DU PHOSPHATE DU TOGO: Qualité 78/80%

Humidité	1.75%	
Teneur sur matière séchée (étuvée à 100°C)		
Perté à la calcination (anhydride carbonique déduit)	1.40	
Anhydride phosphorique P_2O_5	36.56	
Matières silicieuses	4.18	de 3.50 à 4.50
Oxyde de potassium K_2O	0.03	
Oxyde de sodium Na_2O	0.23	
Magnésie MgO	0.10	
Chaux CaO	50.82	
Oxyde de fer Fe_2O_3	1.40	max < 2.50
Alumine Al_2O_3	1.00	
Oxyde de manganèse MnO	0.02	
Oxyde de titane T_2O_2	0.06	
Anhydride carbonique CO_2	1.64	
Anhydride sulfurique SO_3	0.35	

(voir page suivante pour continuation de l'analyse chimique)

Fluor	3.74	
Chlore	0.06	max < 0.10
	101.59	
Déduire O pour Fluor et Chlore	1.57	
	100.02	
Non dosé et pertes	0.02	
P_2O_5 sur matière séchée à 100°C	79.88%	

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Numéro du tamis Tyler	Vide entre fils en mm	Admis
32	0.495	98%
65	0.208	90%
100	0.147	66%
150	0.104	30%
270	0.053	8%

CARACTERISTIQUES DU PHOSPHATE DU TOGO

L'analyse (ci-dessus) permet les constatations suivantes:

Granulométrie

La finesse est sensiblement plus grande que celle des autres phosphates commerciaux. Cette caractéristique entraîne une économie importante d'énergie lors du broyage, lorsque ce dernier est nécessaire.

Analyse chimique

La teneur élevée en phosphate tricalcique (78 à 80% sur matière sèche) devrait permettre d'obtenir des engrais à haute concentration en P_2O_5.

Le rapport CaO/P_2O_5 est très favorable: 1.38 à 1.40. Lors de la solubilisation, la consommation d'acide sera modérée.

Grâce à la faible teneur CO_2, la conduite de l'attaque sera aisée et il n'y aura aucune précaution à prendre pour empêcher la formation de mousses.

UTILISATION DU PHOSPHATE DU TOGO

L'emploi du phosphate du Togo dans la fabrication des engrais chimiques a pleinement confirmé les caractéristiques favorables de ce minerai.

En particulier, son utilisation dans la fabrication de l'acide phosphorique par voie humide a mis en évidence des conditions d'emploi remarquables et des avantages caractéristiques qui sont les suivants:

- le phosphate peut être utilisé directement sans broyage,
- l'emploi d'anti-mousses est superflu,
- la capacité de filtration du gypse est très élevée: environ 8 tonnes P_2O_5/m^2 utile/jour pour la production d'acide phosphorique 32%,
- le rendement d'extraction du P_2O_5 dépasse 96%, même lorsque le phosphate n'a pas été broyé,
- la consommation d'acide sulfurique 100% est d'environ 2.50 tonnes par tonne de P_2O_5 solubilisé,
- la fabrication de l'acide phosphorique n'entraîne pas de dépôt de sels incrustants et rend inutiles les arrêts pour détartrage.

Grâce à ses teneurs modérées en matières organiques, magnésie, alcalins, l'acide produit se prête bien aux fabrications très élaborées: phosphates alcalins, engrais liquides.

Les engrais liquides fabriqués avec cet acide ne contiennent aucun dépôt solide après plusieurs semaines de stockage à la température ambiante.

PERSONNEL

2430 agents dont plus de 98% sont des Togolais, contribuent à la bonne marche de l'exploitation.

Le recrutement et la promotion, sur le plan professionnel et social, sont assurés par un Service de Formation.

INSTALLATIONS ANNEXES

L'énergie électrique est fournie par la C.E.B. Toutefois une Centrale Diesel-électrique de l'Office peut fournir 13 000 kW pour les besoins de l'exploitation. La Carrière et l'Usine sont reliés par une ligne de 63 000 V.

Pour l'hébergement et l'environnement social de ses cadres, employés et ouvriers, l'Office Togolais des Phosphates a crée:

- un Centre Administratif
- deux Centres Résidentiels.

Chacun des centres résidentiels est équipé d'un dispensaire, d'une école, d'un club, d'un restaurant et de terrains de jeux.