

# PCMM

PONTS  
et  
CHAUSSEES

*energies  
nouvelles*

# Propre ou usée, l'eau c'est notre métier.



Qu'il s'agisse d'une ville ou d'un village, la Société Lyonnaise des Eaux prend en main, soit totalement, soit partiellement vos problèmes d'eau.

Il faut pouvoir, en effet, transformer, distribuer, rejeter un élément que la nature nous livre. L'eau en tant que produit fini doit présenter toutes les qualités que l'utili-

sateur est en droit d'exiger. L'eau après usage doit respecter les normes qui protègent la nature de la pollution. Et ceci pour un prix modeste.

Les différentes formules de contrats mises au point par la Lyonnaise des Eaux visent à répondre aux besoins exacts de vos collectivités.

Une structure décentralisée met partout

en France des interlocuteurs responsables face aux élus locaux. Derrière eux toute la logistique de la Lyonnaise des Eaux : laboratoires, centres de calcul, bureaux d'études, etc...

Potable ou non, si vous avez un problème d'eau, n'hésitez pas à nous consulter : nos spécialistes vous feront bénéficier d'une longue expérience acquise sur le terrain.



**Société Lyonnaise des Eaux**

45, rue Cortambert - 75769 PARIS CEDEX 16 - Tél. : 504.30.70.

**3500 spécialistes de l'eau au service des collectivités.**



mensuel  
28, rue des Saints-Pères  
Paris-7<sup>e</sup>

**Directeur de la publication :**

Jacques TANZI  
Président de l'Association

**Rédacteur en chef :**

Olivier HALPERN  
Ingénieur  
des Ponts et Chaussées

**Assistante de rédaction :**

Brigitte LEFEBVRE DU PREY

**Promotion et  
administration :**

28, rue des Saints-Pères  
Paris-7<sup>e</sup>

Bulletin de l'Association des Ingénieurs des Ponts et Chaussées, avec la collaboration de l'Association des Anciens Elèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées, 28, rue des Saints-Pères, 75007 Paris. Tél. 280.25.33.

**Abonnements :**

— France 150 F.  
— Etranger 150 F. (frais de port en sus)  
Prix du numéro : 18 F.

**Publicité :**

Responsable de la publicité :  
Jean FROCHOT  
Société Pyc-Editions :  
254, rue de Vaugirard  
75015 Paris  
Tél. 532-27-19

L'Association des Ingénieurs des Ponts et Chaussées n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou dans les articles qu'elle publie.

Dépôt légal 2<sup>e</sup> trimestre 1976  
N° 4577  
Commission Paritaire N° 55.306

IMPRIMERIE MODERNE  
U.S.H.A.  
Aurillac

# sommaire

Vive le nouveau Président ..... 11

## dossier

Editorial .....	12
Jean-Claude COLLI	
Géothermie en région parisienne .....	13
M. MAILLARD	
La Z.U.P. de Melun-l'Almont .....	21
M. FAISANDIER	
Une conception française de la géothermie .....	25
P. MAUGIS	
L'exemple de Creil .....	29
M. DESLANDES	
Les aérogénérateurs dans le service des phares et balises .....	37
MM. MARTIN et PRUNIERAS	
Comment capter l'énergie solaire .....	49
M. MADERN	
Chauffage et eau chaude sanitaire .....	56
M. BIELIKOFF	
Energie solaire à l'aéroport de Nice .....	59
M. COMBEAU	
Production solaire d'électricité .....	61
MM. PHARABOD et POUGET-ABADIE	
Les piles solaires photovoltaïques .....	65
M. CROITORU	

## rubriques

Qualité de la vie .....	68
Mouvements .....	72
Formation permanente .....	75

Couverture : Photo RAPHO

Maquette : Monique CARALLI

# Dynamisez votre réseau de vente dans toute la France avec le train forum.

bélier

Mener une action promotionnelle originale dans 10, 15 ou 30 villes différentes de France ou d'Europe, en 10, 15 ou 30 jours, le train Forum le permet.

Ce train est conçu pour la réalisation d'expositions itinérantes. Vous établissez votre programme, lieu, durée, nombre de voitures, en fonction de vos objectifs, et le Forum déplace votre exposition là où vous le voulez, quand vous le voulez. Dégagée de tout souci d'organisation, votre équipe commerciale, qui voyage à bord du train, est totalement disponible pour informer la clientèle que vous avez choisie de rencontrer.

Concessionnaires, revendeurs, utilisateurs de vos produits ou de vos services seront stimulés par cette action menée pour eux, dans leur région.

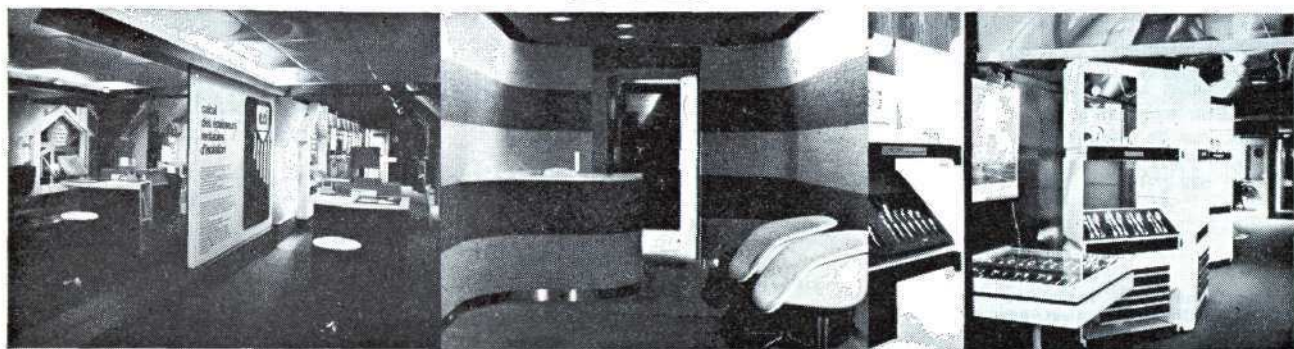
Ainsi, Claude Neuschwander a choisi le train Forum pour relancer Lip auprès de son réseau commercial.

En deux ans, bien d'autres entreprises ont aussi utilisé le train Forum avec succès : Agfa Gevaert, les Câbles de Lyon, AEG Telefunken, Isover St-Gobain, Christofle, l'E.D.F., la Télémécanique Électrique, Cine Qua Non, L.M.T., la Compagnie Française d'Équipement Automobile (Tecalemit, Gelbon, R.G.), Louis de Poortère, Schlumberger, etc.

Comment mieux prouver l'efficacité du train Forum ?

Pour mieux connaître ce moyen de promotion, écrivez ou téléphonez à la S.N.C.F., train Forum, 88, rue St-Lazare, 75436 Paris Cedex 09, tél. 874-73-00, poste 95-98.

**SNCF**



Design du Forum  
Michel et Mona KINNI

**Le train forum, un événement dans les villes de votre choix.**



Train forum S.N.C.F., 88, rue St-Lazare, 75436 Paris Cedex 09, tél. 874-73-00, poste 95-98.



- constructions métalliques
- constructions mécaniques
- constructions nucléaires
- constructions off-shore
- aéroréfrigérants
- menuiserie métallique
- façades-murs-rideaux
- chaudronnerie-réservoirs
- ponts fixes et mobiles
- ouvrages hydrauliques
- entreprise générale

## Compagnie Française d'Entreprises Métalliques

57, bd de Montmorency - B.P. 31816 - 75781 Paris Cedex 16 - Tél. 524 46 92 - Telex Lonfer Paris 620512

CFEM

TERRASSEMENTS  
TRAVAUX PUBLICS  
BÉTON ARMÉ  
ET PRÉCONTRAIT  
BATIMENTS  
TRAVAUX SOUTERRAINS  
FLUVIAUX et MARITIMES



Métro de Marseille (en participation).  
Viaduc de la Rose (exécution Moinon).

Agence du Sud-Est :  
B. P. 23

13130 BERRE L'ÉTANG  
Tél. : 15 - 91 - 85 - 42 - 37

## Entreprise MOINON

57, rue de Colombes 92003 Nanterre Cedex

Télex : 691 755

Tél. : 769-92-90 (9 lignes)

# INTRAFOR-COFOR

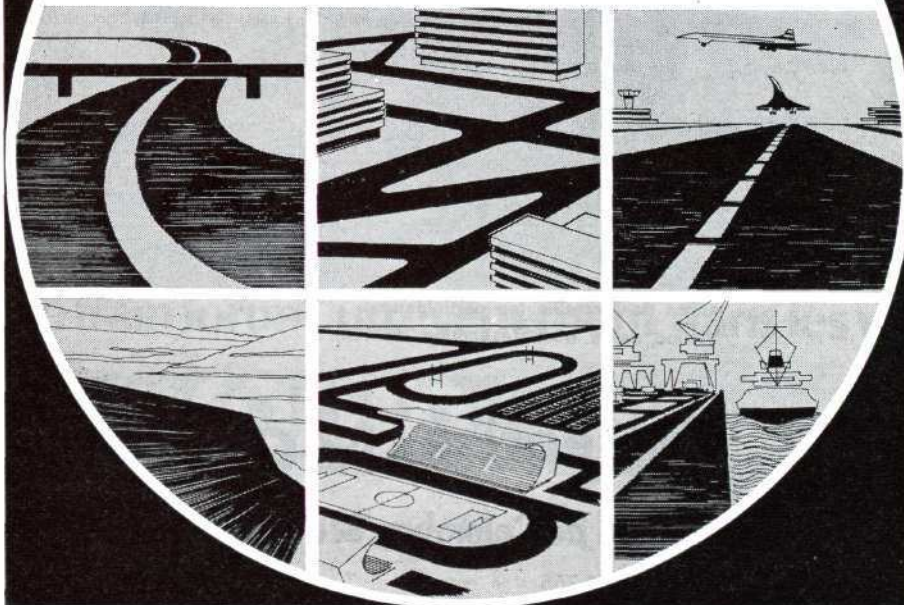
15, RUE DES SABLONS - 75116 PARIS TEL. 553.57.79



FORAGES DE GEOTHERMIE - CREIL  
APPAREIL IDECO H40 RAMBLER

FORME & FONCTION - PH. FRANCOIS

routes ↔ autoroutes ↔ aérodromes  
voirie urbaine ↔ lotissements ↔ z.u.p.  
infrastructures industrielles (usines nouvelles)  
équipements collectifs (lycées ↔ hôpitaux ↔ etc.)  
aménagements sportifs  
(circuits automobiles ↔ stades ↔ etc.)  
ouvrages maritimes et fluviaux  
(canaux ↔ digues ↔ etc.)



société  
chimique  
de la route



1 AVENUE MORANE SAULNIER  
78140 VELIZY VILLACOUBLAY  
BOITE POSTALE N°21  
TELEPHONE 946 96 60

# LE TUBE D'ACIER à revêtement intérieur de mortier de CIMENT centrifugé.



est une synthèse de techniques éprouvées de l'Acier qui permet de réaliser des canalisations de transport et de distribution d'eaux potables ou industrielles

- incassables - étanches par des joints soudés - souples -
  - inaltérables - économiques.
- Le revêtement intérieur en mortier de ciment possède une très bonne inertie à l'agressivité des eaux véhiculées, et de plus n'est pas altéré par les opérations de soudures, coupes ou piquages.

## stecta

108-110, avenue Jean-Moulin  
78170 La Celle-St-Cloud  
Tél. 969.64.11/969.55.56/969.60.50



- STECTA c'est encore :
- les tubes PVC ARMOSIG à joints «AS» ou «Collés»
  - les vannes papillon AMRI
  - la protection cathodique de structures métalliques enterrées
  - la robinetterie-fontainerie Sté METALLURGIQUE HAUT-MARNAISE
  - les compteurs EYQUEM

études géotechniques  
et hydrologiques  
injections pour éfanchement  
et consolidation des sols  
parois d'étanchéité • paroi moulée  
paroi préfabriquée "panosol"  
tirants d'ancrage • pieux et appuis moulés  
de haute capacité portante  
rabattement de nappes • captages  
drainage • électro-osmose  
pour consolidation de sols

# SOLETANCHE ENTREPRISE

7 rue de Logelbach / BP. 309 / 75822 Paris Cedex 17  
tel 227.65.73 et 622.25.00  
représentations en France et à l'étranger

publilit

## TRAITEMENT DE SOLS

par catalyseur liquide sulfoné  
sur base minérale naturelle

STABILISATION EN PLACE  
MISE HORS GEL  
CONSTRUCTION ECONOMIQUE  
DE :

ROUTES  
CHEMINS  
AIRES DIVERSES  
etc...

15 années d'expérience  
à votre service  
Des milliers de réalisations  
dans le monde



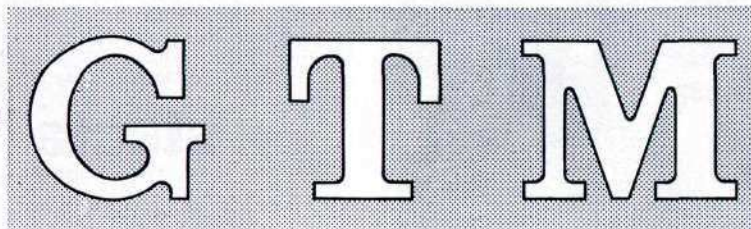
CETEM

41, bd J.-d'Arc - B.P. 122  
93102 MONTREUIL CEDEX  
Tél. 287.13.91

CPA-ARS

AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES  
 CENTRALES NUCLÉAIRES - CENTRALES THERMIQUES  
 CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES  
 TRAVAUX DE PORTS - ROUTES - OUVRAGES D'ART  
 BÉTON PRÉCONTRAIT - CANALISATIONS POUR FLUIDES  
 CANALISATIONS ÉLECTRIQUES - PIPE-LINES

Groupe



## Société des Grands Travaux de Marseille

61, avenue Jules-Quentin - NANTERRE (Hauts-de-Seine)  
 Tél. : (1) 769.62.40  
 Téléx : GTMNTER 690 515 F

# Société Armoricaine d'Entreprises Générales

S.A. au Capital de 2 000 000 F

■  
 TRAVAUX PUBLICS  
 ET PARTICULIERS  
 ■

Siège social :  
 7, rue de Bernus - VANNES  
 Téléphone : 66.22.90



**seitha**

Société d'Etudes et d'Installations  
 Thermiques et Aérauliques

CONDITIONNEMENT D'AIR  
 CHAUFFAGE  
 RECUPERATION D'ENERGIE

Qualifications nationales  
 O.P.Q.C.B. 521-531-535 5 étoiles  
 Société anonyme au capital de 1 800 000 F

Quelques références :

- Chaîne des Motels NOVOTEL
- AMBASSADE D'AFRIQUE DU SUD
- E.D.F. (Marseille, Ajaccio, Nice, Aix-en-Provence...)
- P. et T. (Centre de Gestion Electronique de Chèques...)
- CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES Toulouse
- SHELL BERRE
- CREDIT LYONNAIS
- CAISSES DE CREDIT AGRICOLE (Bourg, Chalons-sur-Marne, Niort, Reims...)
- COMPAGNIE NATIONALE DU RHONE
- MERLIN GERIN
- LE PROGRES - DAUPHINE LIBERE
- CITE ADMINISTRATIVE D'ETAT Lyon
- HOTEL DE LA COMMUNAUTE URBAINE de Lyon
- Parking 3.000 places Lyon Part-Dieu

3, av. Cdt-Lherminier - B.P. 5046  
 69601 VILLEURBANNE C.U. Cedex  
 Téléphone : Lyon (78) 84.22.08  
 Téléx 370 072 SEITHA VILRB  
 AGENCES à PARIS et MARSEILLE

ENTREPRISE

**BOURDIN & CHAUSSE**

S.A. au Capital de 21 000 000 F

**NANTES :**

Rue de l'Ouche-Buron - Tél. : 49.26.08

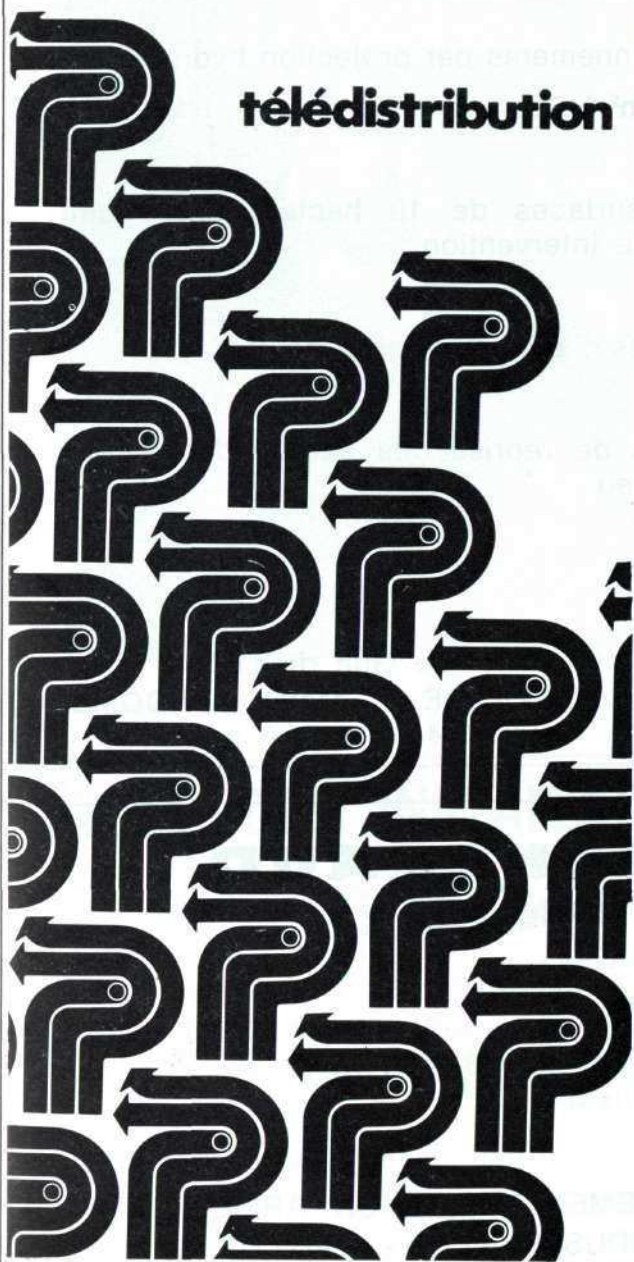
**PARIS :**

36, rue de l'Ancienne Mairie  
 92 - BOULOGNE-BILLAN COURT - Tél. : 604 13-52

TERRASSEMENTS  
 ROUTES  
 ASSAINISSEMENT  
 RÉSEAUX EAU et GAZ  
 GÉNIE CIVIL  
 SOLS SPORTIFS



**télédistribution**



La télédistribution est un système conçu pour la distribution par câble coaxial, d'une quantité importante de programmes à un grand nombre d'usagers, qui bénéficient d'une réception améliorée.

- Urbanisme
- Industrie
- Enseignement
- Hôpitaux, Cliniques
- Hôtels

**portenseigne**

DEPARTEMENT SYSTEMES

Capital 3 300 000 F R.C. PARIS 55 B 6854  
51 à 63, rue Gaston-Lauriau 93106 MONTREUIL CEDEX  
Téléphone : 858.91.31 +

IPF 1237



**TECHNOSOL**

BUREAU D'ETUDES  
SOLS ET FONDATIONS

**SONDAGES**

**PENETROMETRES**

**PRESSIOMETRES**

**LABORATOIRE**

153, AV. VICTOR HUGO. 75116 PARIS  
B.P. N° 3 - 91620 LA VILLE DU BOIS  
TELEPHONE : 909.14.51+

pub. r. franok

# La Société J. SPAKE Engazonnement Industriel

vous propose pour l'année 1976 des engazonnements par projection hydraulique  
à **0,30 F le m<sup>2</sup> H.T.**

Ce prix n'est applicable que pour des surfaces de 10 hectares minimum  
réalisés en une seule intervention

Pour des quantités inférieures : prix sur demande

Tous nos semis comportent une garantie de reprise des parties déficientes  
s'il y a lieu

## **Sté J. SPAKE**

« Le Gué du Loir »  
**MAZANGÉ - 41100 VENDÔME**  
Tél. 23.03.34 à Mazangé par Vendôme

## **Entreprise GAGNERAUD Père et Fils**

S.A. au Capital de 30 000 000 F

Fondée en 1886

7 et 9, rue Auguste-Maquet, **PARIS (16<sup>e</sup>)**

Tél. : 288.07.76 et la suite

TRAVAUX PUBLICS - TERRASSEMENTS - BÉTON ARMÉ  
BATIMENT - CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES - VIABILITE  
ASSAINISSEMENT - TRAVAUX SOUTERRAINS - CARRIÈRES  
BALLAST - PRODUITS ROUTIERS - ROUTES - ENROBÉS



**PARIS** (Seine)

**MARSEILLE, FOS-SUR-MER** (Bouches-du-Rhône)

**VALENCIENNES, DENAIN, MAUBEUGE, DUNKERQUE** (Nord)

**LE HAVRE** (Seine - Maritime) - **MANTES** (Yvelines)



plaisir retrouvé  
grâce  
à la  
compagnie  
générale des eaux



## ÉTUDE DES INSTALLATIONS D'UTILISATION de la GÉOTHERMIE

au moyen de programmes rédigés dans le cadre d'une étude  
pour la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique  
de **SIMULATION COMPLÈTE** par **CALCUL AUTOMATIQUE**

concernant : l'échangeur

la production de l'énergie de complément

le réseau

les sous-stations

les installations terminales

la régulation des différents postes

permettant les **ÉTUDES DE RENTABILITÉ** et l'adaptation des systèmes de chauffage



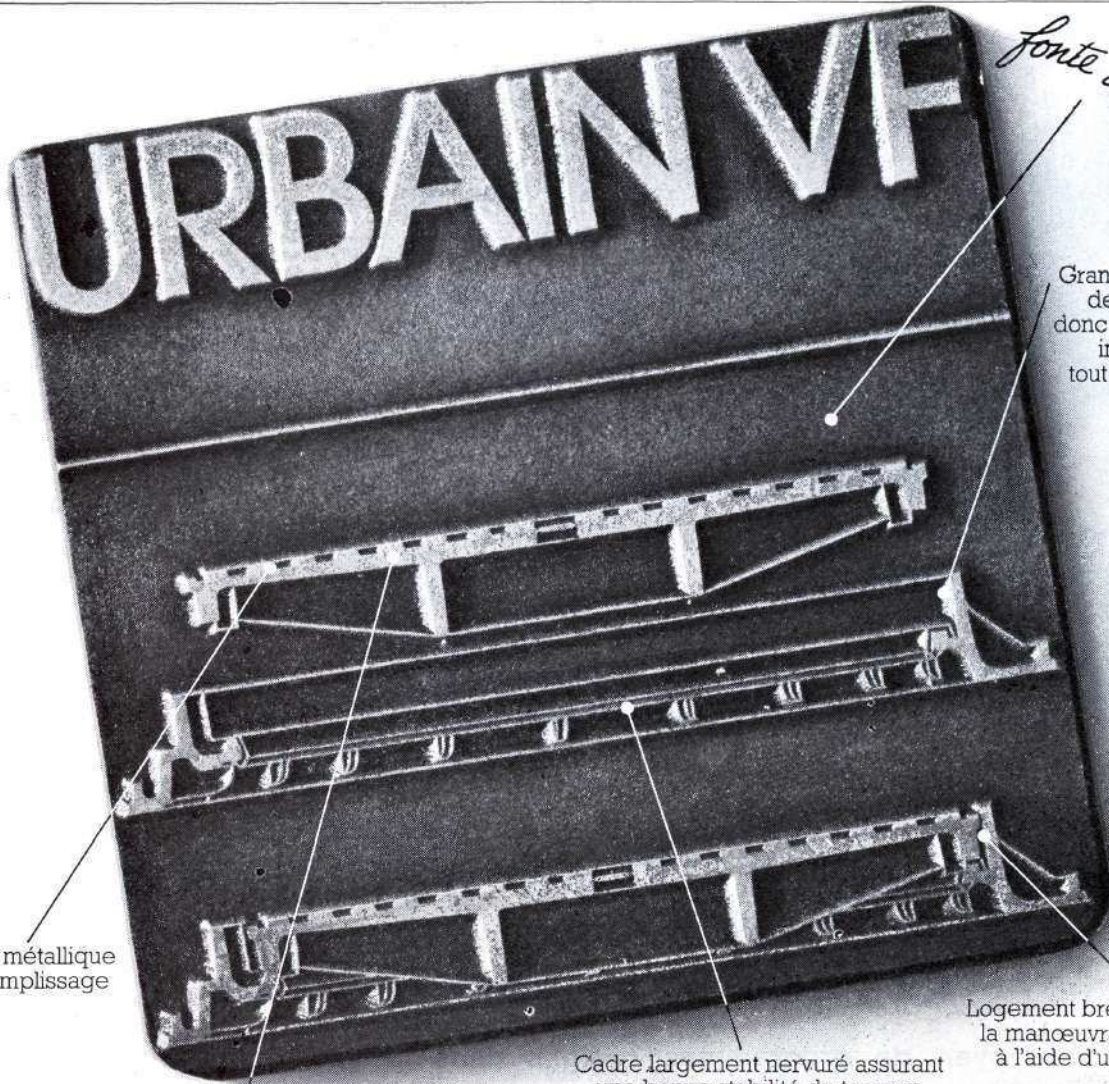
omnium d'études thermiques

Michel VILLAUME, Ingénieur Conseil

21, allée de Clichy — 93340 LE RAINCY — Tél. 927.48.89

# NOUVEAU

URBAIN VF, le regard de chaussées à grand trafic,  
a été choisi pour équiper le taxiway de Concorde à l'aéroport de Toulouse-Blagnac.



*Fonte ductile*

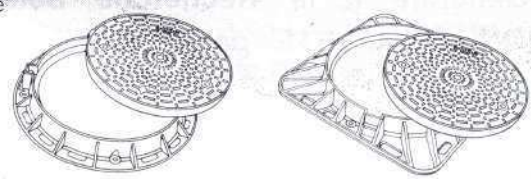
Grande précision de moulage, donc autocentrage interdisant tout mouvement latéral

Surface métallique sans remplissage

Solidité de la fonte ductile

Cadre largement nervuré assurant une bonne stabilité du tampon

Logement breveté facilitant la manœuvre du tampon à l'aide d'une pioche



**52 kilos de fonte ductile dans une feuillure de 50 mm,  
ça tient, et c'est encore manœuvrable (article R 233/1 du Code du Travail)**

**LA FONTE DUCTILE, C'EST L'INTELLIGENCE DE L'ADAPTATION.**

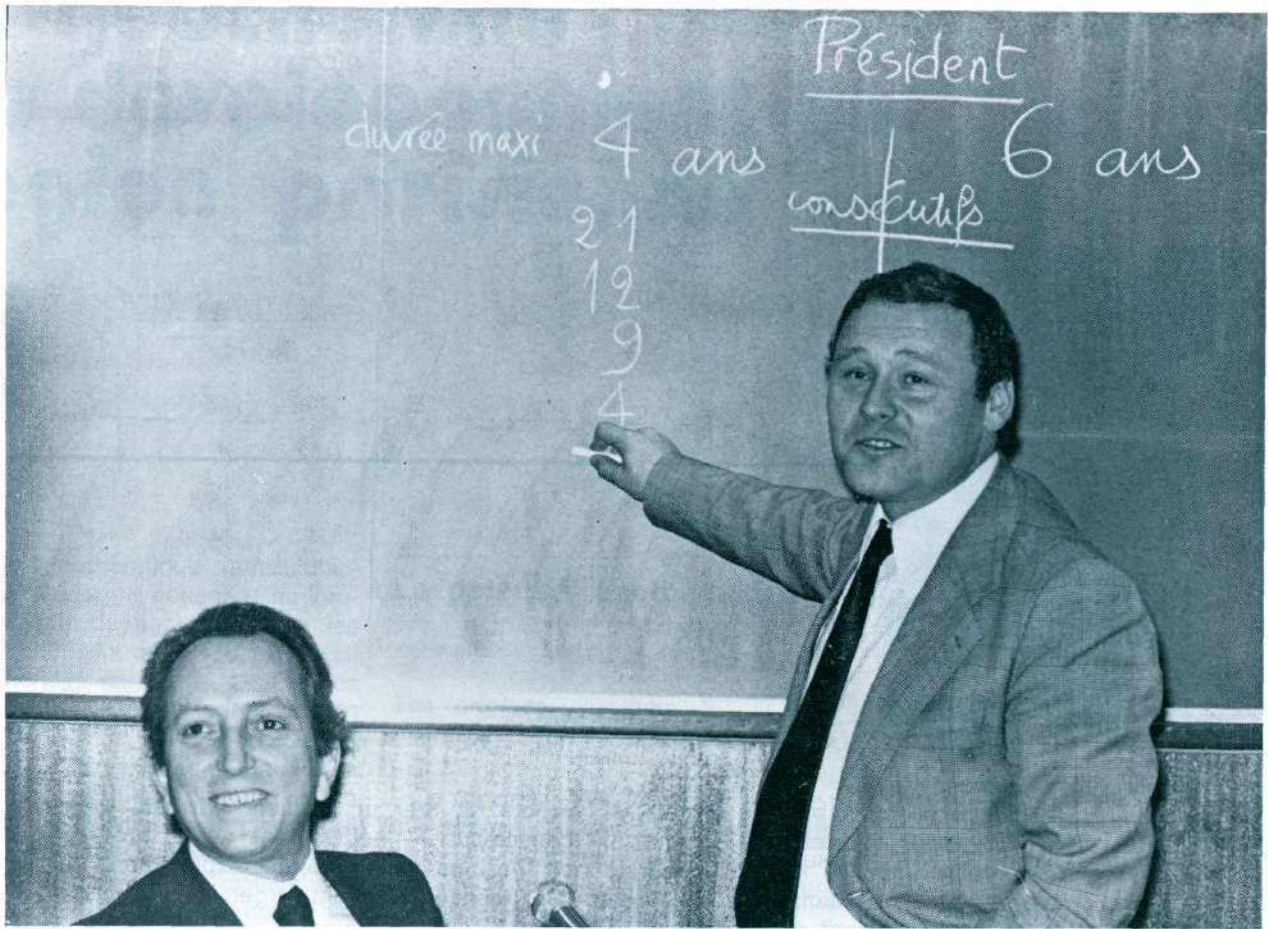


**PONT-A-MOUSSON S.A.**

Il agences à votre service : Bordeaux, Bourges, Caen, Lille, Lyon, Marseille, Nancy, Nantes, Paris, Strasbourg, Toulouse.

Bon à retourner au Service Publicité PONT-A-MOUSSON S.A. 4 X 54017 - NANCY CEDEX.  
Je désire recevoir une documentation sur le regard Urbain VF.

Nom \_\_\_\_\_ Société \_\_\_\_\_  
Adresse \_\_\_\_\_ Téléphone \_\_\_\_\_



## **un président rentre dans le rang vive le nouveau président !**

Depuis bientôt cinq années (mai 71 - avril 76) les Ingénieurs des Ponts et Chaussées m'ont, avec l'accord du Corps des Mines, maintenu à la présidence du P.C.M. J'exprime ici ma profonde reconnaissance à tous ceux qui m'ont ainsi honoré de leur confiance. Ma gratitude s'adresse aussi, et plus particulièrement, à tous ceux qui m'ont activement soutenu en animant les « tables rondes », groupes de travail et groupes régionaux ou en étant membres du Conseil d'administration ou du Directoire.

Prélever du temps sur des ho-

raires déjà surchargés et de l'énergie nerveuse sur des existences déjà surmenées, vaut généralement plus des critiques que des couronnes de lauriers à ceux qui s'exposent ainsi. Aussi est-il bon de dire que, sans ces camarades, la collectivité des Ingénieurs ne serait pas tout à fait ce qu'elle est.

Ce n'est pas ici le lieu de dresser un bilan des résultats atteints au cours de ces cinq années. Disons seulement, que nous n'avons ni le sentiment d'avoir démerité ni celui d'avoir pleinement atteint les objectifs que nous nous étions

peut-être imprudemment proposés.

Mais voici qu'une nouvelle équipe, dont le dynamisme et la clairvoyance s'allient à la prudence et au doigté, vient assurer la relève. Celui qui la dirige est pour moi un ami de longue date. Ses membres sont bien connus de vous. Vos votes ont montré la confiance que vous leur faites.

Rentrant dans le rang ainsi que m'y invitent avec sagesse nos statuts, je leur présente, avec mes chaleureuses félicitations, mes vœux de plus complète réussite dans l'intérêt des Ingénieurs et du pays.

René MAYER.

# éditorial

---



La hausse des prix du pétrole, la volonté de tirer un meilleur parti de toutes les ressources offertes par la nature, la conscience — nouvelle — de la nécessité de ne plus attendre la couverture de nos besoins de la seule exploitation des énergies stockées dans la Terre, toutes ces données justifient largement l'ouverture de ce nouveau front énergétique.

Mais, comme dans toute exploration de nouvelles frontières, le succès de l'entreprise se mesure à l'exactitude de la trajectoire, entre les deux dangers qui la sollicitent : le scepticisme blasé du technocrate, stérilisé de certitudes ; le romantisme exalté de ceux qui rêvent l'avenir, au lieu de le préparer.

En consacrant ce numéro aux Energies Nouvelles, la Revue P.C.M. apporte une contribution décisive à l'action d'information et de promotion engagée par le Gouvernement dans ce domaine.

Je pratique, en effet, depuis assez longtemps — et à divers titres — les ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines pour connaître l'importance stratégique des positions qu'ils occupent, aux échelons où l'on décide. En cela, leur intérêt pour les énergies nouvelles peut conforter l'action engagée. Qu'ils me permettent de faire appel à eux.

Et ce que j'ai pu apprécier de leurs qualités m'autorise à leur adresser ce message avec confiance : la prise en compte des énergies nouvelles se mesurera, en effet, à l'imagination où les responsables sauront puiser. Et leur développement, à court puis à long terme, sur le réalisme positif qu'ils y appliqueront.

Jean-Claude COLLI  
Délégué aux Energies Nouvelles.

# La géothermie : perspectives de développement en région parisienne

par D. MAILLARD

*Ingénieur des Mines.*

L'énergie géothermique (ainsi d'ailleurs que l'énergie éolienne) ne présente en fait de nouveauté que les espoirs bien souvent excessifs qui ont été fondés en elle à la suite des menaces sur l'approvisionnement en énergie classique. En effet, depuis très longtemps les eaux chaudes à basse température (inférieure à 100 °C) ont été utilisées de façon modeste, mais souvent efficace. Dès l'occupation romaine, des installations de distribution d'eau de sources chaudes ont été mises en place dans certaines stations thermales. De nos jours, Chaudes-Aigues dans le Cantal, Plombières dans les Vosges et Dax dans les Landes possèdent des dispositifs de chauffage central d'origine géothermique. Ces systèmes, à la différence des installations actuellement réalisées ou projetées, ne comportaient bien évidemment que l'exploitation des eaux chaudes de surface. La première réalisation française d'utilisation d'eaux chaudes géothermales par un forage de grande profondeur a été effectuée en Région Parisienne, à Melun-l'Almont, en 1969.

Le bassin parisien constitue un site favorable tant par l'existence de ressources géothermiques que par la présence de débouchés potentiels importants. Même si, à moyen terme, la place de la géothermie dans le bilan énergétique régional restera modeste (environ 300 000 tep économisées annuellement en 1985), cela constituera un apport intéressant dans la recherche de la diversification des sources d'énergie et la satisfaction de besoins spécifiques, notamment en ce qui concerne le chauffage des locaux.

---

## Le potentiel géothermique

---

### *Les origines physiques de la géothermie*

La chaleur géothermique provient du régime thermique interne de la terre qui se traduit par un flux permanent d'environ 0,05 W/m<sup>2</sup>. Ce flux correspond, en régime d'équilibre et hors aberrations particulières, à un gradient thermique de 1° par 30 m. Aux environs de 2 000 m la température des couches est donc de l'ordre de 60 à 70 °C.

L'exploitation de l'énergie géothermique ne peut se faire qu'à l'occasion d'une circulation d'eau (en phase liquide ou vapeur). L'existence d'un gîte dépend donc de la présence d'une couche perméable à profondeur suffisante (1). Les zones perméables à faible profondeur sont généralement bien connues, mais les connaissances géologiques à des profondeurs de 2 000 m sont plus sommaires. Le bassin parisien est bien placé à cet égard, en raison des prospections pétrolières qui y sont entreprises.

Cette ressource n'est pas inépuisable à l'échelle humaine ; l'exploitation d'un gîte géothermique amène un débit calorifique d'un ordre de grandeur bien supérieur au flux géothermique dont l'effet compense simplement les pertes par conduction. On peut considérer qu'un gîte refroidi par l'exploitation et laissé à lui-même ne retrouvera sa température initiale qu'au bout de plusieurs milliers d'années. L'ex-

ploitation devra donc prendre en considération cet élément de façon à ne pas gaspiller la ressource.

### *Les ressources géothermiques du bassin parisien*

De nombreuses couches géologiques aquifères ont été reconnues dans les séries du Bassin de Paris, d'autant plus que près de 1 400 sondages profonds y ont été forés. Le réservoir le plus intéressant est constitué par la formation du Dogger dans le Jurassique moyen.

L'épaisseur utile de ces calcaires poreux dépasse 100 m dans la région centrale et peut atteindre 130 m près de Meaux. Cette épaisseur diminue vers la périphérie du bassin ; à l'ouest les calcaires se changent en argile tandis qu'au sud et au nord-ouest ils deviennent compacts. Le toit du réservoir se trouve entre 1 700 et 2 000 m de profondeur. Dans le triangle Meaux-Provins-Melun la couche est à près de 2 000 m et la température y dépasse 75 °C. La carte en annexe 1, établie par le BRGM, présente les isothermes approximatives au toit du réservoir. La région où la température de l'eau du gisement dépasse 70 °C couvre une superficie d'environ 5 000 km<sup>2</sup>.

---

(1) Nous n'évoquerons pas ici la géothermie « sèche » consistant à récupérer la chaleur sensible des roches par l'injection d'eau en profondeur dans des terrains préalablement fracturés. Cette méthode étudiée à titre expérimental aux Etats-Unis ne paraît pas susceptible d'application en bassin parisien.

L'eau du Dogger est salée, le réservoir supérieur présente une salinité de 5 à 30 g/l suivant les emplacements, les eaux les plus chargées se situent au centre et au nord-ouest du bassin. L'eau contient fréquemment de l'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ) ainsi que des indices d'huile ou de gaz. La présence de bactéries anaérobies a pu être mise en évidence dans certains forages.

## Mise en œuvre de la géothermie

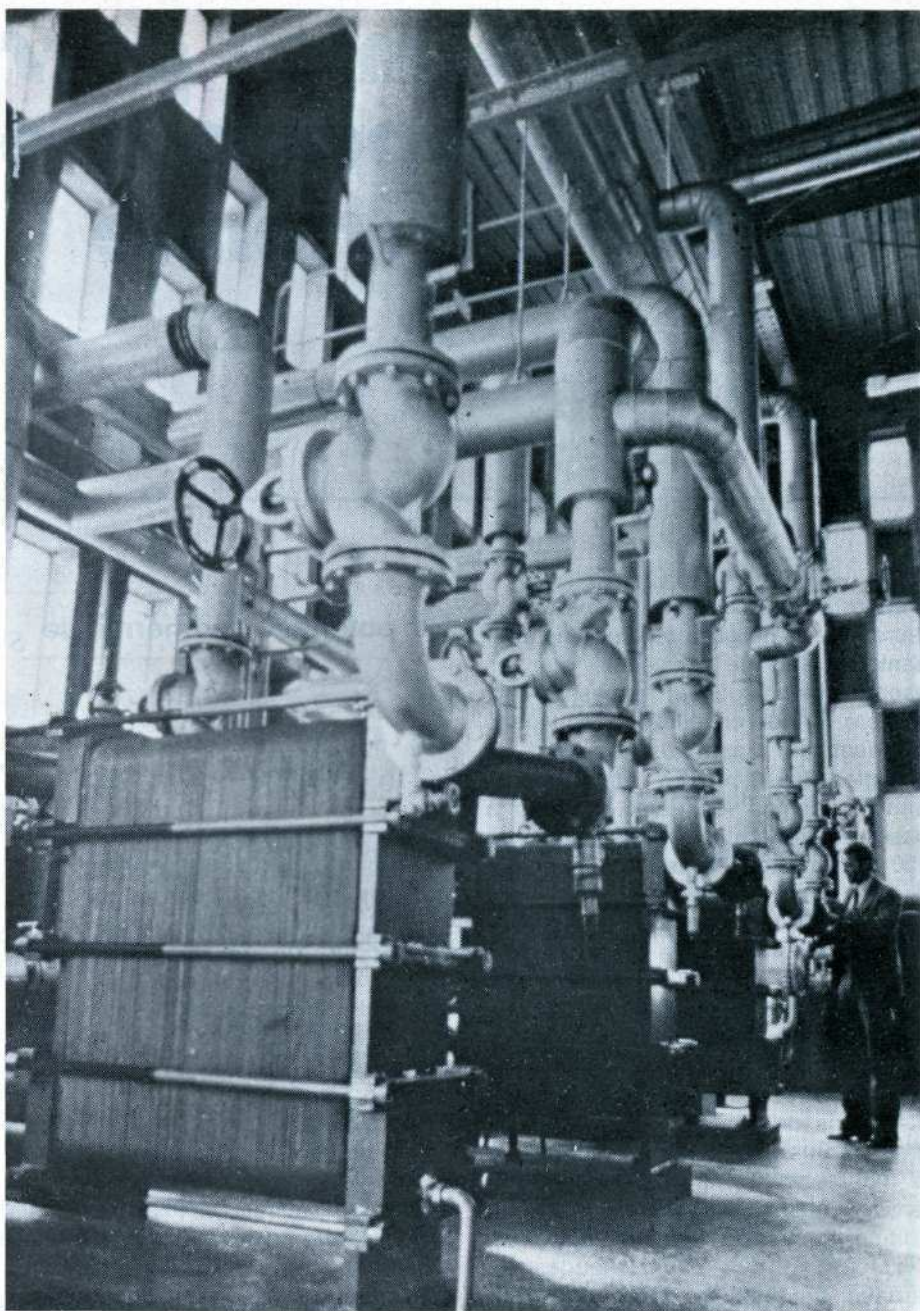
### Gestion de la nappe

L'exploitation de l'aquifère profond du Dogger ne peut se faire qu'à l'aide de forages. Les puits sont creusés suivant une technique analogue à celle utilisée par l'industrie pétrolière. Une installation géothermique comprend deux puits : l'un pour le soutirage, l'autre pour la réinjection, ce qui constitue un « doublet ». Cette réinjection correspond à deux impératifs : il s'agit d'une part de rejeter en profondeur des eaux salées qui, pour des raisons de pollution, ne pourraient pas être injectées dans le réseau fluvial, et d'autre part de maintenir la pression dans le réservoir géothermique.

Ces dispositions sont propres au réservoir du Dogger en France. En Hongrie, où l'on exploite des nappes dans le tertiaire jusqu'à 1 800 m, l'eau douce des sondages est exploitée sans réinjection. La réalimentation des nappes se fait naturellement par des terrains très perméables ; c'est également le cas en bassin aquitain.

### Evolution de la température dans le réservoir

Le réchauffement de la nappe ne se fait que très lentement et en tout état de cause beaucoup moins rapidement que le refroidissement dû à l'exploitation. Il se crée donc autour des puits de réinjection une zone à température plus froide, qui s'étend pendant l'exploitation du réservoir, pour finalement atteindre les puits de soutirage dont la température va alors décroître.



Les échangeurs à plaque en titane des installations géothermiques de Melun-l'Almont.

(Photo C.G.C.)

Des modèles ont été réalisés pour évaluer à l'aide d'un minimum de paramètres le temps qui s'écoulera jusqu'au début du refroidissement de l'eau extraite. On a pu montrer de la sorte que pour un aquifère ayant une épaisseur utile de 100 m, une porosité efficace de 15 % et un écartement des puits de 900 m, la durée d'exploitation à température constante est de 35 ans pour un débit continu d'exploitation égal à 150 m<sup>3</sup>/h. En outre, au

bout d'un nouveau délai de 35 ans, le refroidissement de l'eau soutirée sera de l'ordre du dixième de l'écart de température entre les puits.

### Réalisation des puits d'exploitation. les problèmes de corrosion

L'exploitation du Dogger suppose la réalisation de deux puits d'un écartement convenable. Toutefois, afin de



limiter l'emprise au sol et pour éviter la réalisation d'une conduite horizontale de près de 1 000 m, les deux puits peuvent être forés au départ d'une même plate-forme, à une dizaine de mètres de distance l'un de l'autre. Ils sont par la suite forés en déviation pour présenter au niveau du réservoir, l'écart voulu. Cette technique a été mise en œuvre pour la première fois à Melun-l'Almont et semble devoir être retenue pour la réalisation de doublets isolés (cf. annexe 2).

En raison de sa salinité, il n'est pas question de faire circuler l'eau du Dogger directement dans des installations terminales chez les usagers. Des échangeurs en tête de puits assurent le réchauffage d'un circuit secondaire sur lequel sont branchées les installations d'appoint et d'éventuelles pompes à chaleur.

La nature corrosive des eaux géothermales conduit à prendre des précautions particulières. Il a fallu rechercher des matériaux résistants à ces types de corrosion. Des échangeurs furent réalisés en titane et donnent toute satisfaction depuis 1972. Un autre procédé (dit « Sakaphen »), consiste à déposer sur les parois internes de l'échangeur une résine époxy inattaquable.

Des corrosions peuvent être redoutées également pour le tubage des puits d'exploitation. Les mesures indirectes réalisées à Melun concluent pour l'instant à l'absence de perforation mais des dépôts importants de sulfure de fer et la présence de nodules de corrosion ont pu être mis en évidence par l'examen visuel des têtes de puits. La nécessité de protéger les nappes superficielles et les sables de l'Albien conduit à examiner avec attention ce problème. Une expérience très intéressante a été réalisée à Villeneuve-la-Garenne en procédant au tubage des puits géothermiques par des tubes en fibre de verre. Il s'agit là d'une première mondiale, car jamais le tubage de puits déviés n'a été réalisé avec un tel matériau, ni à plus forte raison pour la géothermie.

#### Les installations terminales

Le chauffage par géothermie présente deux caractéristiques :

- l'eau chaude disponible se trouve à une température relativement basse

(70 °C au maximum), en général inférieure à la température de retour de la plupart des installations traditionnelles ;

- d'un coût d'exploitation proportionnel très faible et pratiquement indépendant de la puissance installée, la géothermie se prête particulièrement à une utilisation continue et régulière au cours de l'année.

Ces deux critères serviront de guide à la détermination optimale des trois paramètres principaux :

- le temps d'utilisation annuel ;
- le débit du forage ;
- l'écart de température aux forages.

Pour augmenter le facteur de charge, il faut s'efforcer de donner à la source géothermique une utilisation comportant un nombre élevé d'heures de fonctionnement équivalent à pleine puissance. La géothermie doit être utilisée comme source d'énergie de base et affectée à des usagers permettant le plus possible une utilisation régulière et continue tout au long de l'année comme la production d'eau chaude sanitaire par exemple. Une source d'énergie d'appoint, qui assure en même temps le secours en cas de défaillance éventuelle de la géothermie, est nécessaire. Les installations d'appoint peuvent être des équipements thermiques classiques au fuel ou au gaz, branchés sur le circuit de distribution de chaleur ou des équipements décentralisés dans chaque appartement (convecteurs électriques notamment). Ainsi, la géothermie utilisée en base peut, tout en ne représentant par exemple que 30 % de la puissance totale nécessaire, assurer la satisfaction de près de 70 % des besoins totaux. Avec une telle installation, la durée annuelle de fonctionnement équivalent à pleine puissance est élevée puisqu'elle atteint 4 800 heures.

L'accroissement du débit d'un forage apparaît favorable à une meilleure exploitation, puisqu'un même doublet peut satisfaire des besoins plus importants ou encore, à besoins donnés, on peut réduire le nombre de puits. Il semble que l'on puisse obtenir un débit de l'ordre de 200 m<sup>3</sup>/h. Il faut toutefois ne pas négliger les risques de défaillance technique encore im-

portants avec le matériel actuel. Il sera là encore intéressant de suivre l'expérience tentée à Villeneuve-la-Garenne où une pompe immergée de très grande puissance (300 CV) va être mise en place.

L'énergie récupérée est directement proportionnelle à l'écart de température entre les puits d'injection et de soutirage. Comme on peut montrer par ailleurs que la durée de vie du réservoir est pratiquement indépendante de la température de réinjection, on voit qu'il y a intérêt à réinjecter les eaux à la température la plus basse possible.

Par ailleurs, la température de soutirage de l'eau est déjà relativement basse en comparaison des températures réclamées par les systèmes de chauffage traditionnels, on peut donc envisager deux solutions :

- soit relever la température de départ à l'aide d'une pompe à chaleur, de façon à satisfaire les procédés de chauffage classique ; les calories pouvant être prélevées sur l'eau de réinjection, ce qui permet une meilleure utilisation de la source ;
- soit mettre en place des installations utilisatrices spécialement adaptées à la géothermie. Cela peut supposer la remise en question de pratiques et d'errements anciens en imposant de nouvelles contraintes aux constructeurs. En particulier, il paraît souhaitable d'avoir recours à des systèmes de chauffage par radiateurs (70° - 50°) plutôt que les systèmes traditionnels (90° - 70°) (2). De même, le chauffage par panneaux de sol qui utilise des eaux chaudes entre 40 et 50° est particulièrement bien adapté à un chauffage de base par géothermie.

## Aspects économiques et financiers

Le recours à la géothermie sur une grande échelle a été envisagé à la

(2) Ces fourchettes de température correspondent aux températures entrée et sortie dans les conditions de fonctionnement par - 7 °C extérieur.

# feu rouge...



# feu vert!



Setep

## avec le détecteur MK 15, les feux rouges deviennent toujours verts...

Fini les feux mal synchronisés et les attentes exaspérantes aux feux rouges dans les embouteillages.

Avec les détecteurs MK 15 à boucle magnétique, les feux de signalisation deviennent plus efficaces, plus « intelligents ».

Il n'est plus possible actuellement de concevoir une régulation du trafic sans un bon détecteur de véhicules à boucle magnétique.

Le MK 15 détecte avec précision les véhicules réellement présents à proximité d'un carrefour (y compris les bicyclettes). Notre département trafic et stationnement

met à la disposition des Municipalités et des Ponts-et-Chaussées une gamme complète de détecteurs de véhicules à boucle inductive (détecteurs directionnels, sélectifs ou portables). D'autres versions du MK 15 résolvent les problèmes de comptage dans les parkings, la fermeture des barrières automatiques, etc.



documentation sur demande à C.F.E.E., 90, rue Danton - 92300 Levallois - tél. 757.11.90

Nom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_ tél. \_\_\_\_\_

# C.F.E.E.

90, rue Danton  
92300 Levallois  
tél. : 757-11-90

suite de la hausse importante du prix des combustibles classiques. Les économies d'énergie fossile qui résultent de l'utilisation de la géothermie supposent en contre-partie des investissements encore relativement lourds.

### Les économies d'énergie

La puissance disponible à partir d'un doublet et l'énergie annuellement fournie dépendent des caractéristiques physiques de l'exploitation.

Si  $D$  est le débit (en  $m^3/h$ ),

$\Delta t$  l'écart de température entre le soutirage et la réinjection (en  $^{\circ}C$ ),

$H$  le nombre d'heures annuelles de fonctionnement à équivalent pleine puissance,

- la puissance maximale disponible (en  $th/h$ ) est  $P = D \times \Delta t$ ,
- l'énergie annuellement fournie  $E = D \times \Delta t \times H$ .

Pour des valeurs moyennes en Région Parisienne

$$D = 150 \text{ m}^3/h$$

$$\Delta t = 35 \text{ }^{\circ}C$$

$$H = 4800 \text{ h}$$

$$P = 4,5 \text{ kth/h (soit 5,2 MW)}$$

$$E = 25,2 \text{ Mth}$$

$$\simeq 2500 \text{ tep (3)}.$$

Le nombre de logements desservis dépend des caractéristiques de ces derniers (notamment de l'isolation) et de la part de la puissance assurée par la géothermie. Pour l'exemple numérique précédent, la géothermie représente environ 30 % de la puissance totale : la puissance desservie est de l'ordre de 17,5 MW, soit environ 2 000 logements aux normes d'isolation actuelles.

### Le prix de la géothermie

La géothermie, comme d'une manière générale les énergies et techniques nouvelles, se présente avec des investissements élevés en valeur relative, la rentabilité globale du projet étant assurée par des économies d'exploitation sensibles.

Le montant des investissements n'a pas de signification économique dans l'absolu, il faut en fait prendre en compte le surcoût d'investissement par rapport à une solution classique de référence, qui est en général une installation de chauffage collectif au fuel.

Les chiffres présentent une certaine dispersion et la demi-douzaine d'opérations en cours est insuffisante pour donner une valeur statistique aux montants avancés. Il apparaît que le surcoût d'investissement pour un doublet en Région Parisienne est compris entre 7 et 11 MF (4) dont près de 80 % représente les frais de forage proprement dits. Les économies annuelles nettes de produits pétroliers vont de 2 000 à 3 000 tep. Le surcoût d'investissement moyen est donc d'environ 3 500 F/tep (5) annuellement économisée.

En exploitation annuelle, ces économies de combustibles fossiles sont évidemment à l'actif de la solution géothermie, les autres dépenses d'exploitation et notamment les frais d'entretien sont analogues ou légèrement supérieures à celles d'une installation classique. Toujours pour fixer un ordre de grandeur, on peut avancer que les économies annuelles en exploitation sont comprises entre 0,8 et 1 MF pour un doublet. Le taux de rentabilité sur 25 ans d'une opération de géothermie est alors voisin de 10 % aux conditions économiques du moment.

## Etat actuel des projets et perspectives de développement de la géothermie dans la région parisienne

Certains n'ont pas hésité à affirmer que, à raison de un doublet tous les deux kilomètres carrés, la nappe du Dogger représentait un potentiel thermique de près de 20 000 MW (5,7 MW pour chacun des 3 500 doublets) et permettrait donc, si elle était convenablement exploitée, d'économiser 15 Mtep annuellement. De telles évaluations sont bien évidemment excessives : d'une part, il n'est pas question d'installer un doublet tous les deux kilomètres carrés, la densité des besoins ne présente malheureusement pas une telle régularité et toute la surface du sol n'est pas disponible (6) ; d'autre part, la géothermie étant une ressource non reproductible à l'échelle humaine, il paraît souhaitable d'exploiter la nappe progres-

sivement en évitant un pompage trop intensif.

A l'horizon 1985, une hypothèse de 100 doublets, 0,3 Mtep économisées annuellement, représente un objectif plus modeste, mais aussi plus vraisemblable. Pour atteindre un tel but, il apparaît nécessaire d'accélérer dans les premières années le rythme des réalisations. Or, compte tenu des obstacles psychologiques et des engagements financiers à prendre au départ, on peut craindre que le développement ne soit trop long, à moins d'une intervention des Pouvoirs Publics et de la mise en place de mesures d'incitation.

Parallèlement au lancement d'un programme d'études et de recherches sur l'évaluation du potentiel géothermique (confié au BRGM et à la DGRST) ainsi que sur la mise au point d'appareillages spécifiques d'utilisation (dans le cadre du Plan Construction) ; l'Etat a mis en place une procédure d'aide financière aux réalisations géothermiques. Pour 1975, un fonds d'incitation de 7 MF, porté à 15 MF en 1976, a été mis en place. Après examen technique et économique du projet par le Comité de géothermie placé auprès du Ministre de l'Industrie et de la Recherche et présidé par le Directeur des Mines, l'Etat peut participer au financement des réalisations sous la forme d'une avance remboursable en cas de succès. La notion de succès ou d'échec recouvre essentiellement le risque géologique de l'opération (débit ou température insuffisants) que l'Etat prend à sa charge. Le montant de cette aide est compris entre 1,5 et 3 MF par doublet.

Ces incitations auront un effet entraînant et devront de plus en plus favoriser des opérations pilotes met-

(3) Dans ce calcul sommaire on néglige les consommations d'électricité induites par le pompage notamment.

(4) Aux conditions économiques de janvier 1976.

(5) Le ratio proposé par l'Agence pour les Economies d'Energie pour ses actions de démonstration est 2 000 F/tep annuellement économisée.

(6) Les forêts représentent une superficie de l'ordre de 2 000 km<sup>2</sup>.

tant en valeur un aspect original de valorisation de la géothermie, en laissant le secteur industriel développer des opérations classiques où les aléas seront plus faibles et mieux connus.

### Projets de réalisation en bassin parisien

Le tableau ci-après rappelle les réalisations ou les projets avec leurs caractéristiques principales.

prévoyait la fourniture d'eau chaude sanitaire à 25 000 logements ;

- le secteur de la **Villette** où une étude a été effectuée pour le chauffage et la climatisation de 1 million de m<sup>2</sup> de surface de plancher ;
- la **ville du Kremlin-Bicêtre** qui envisage de recourir à la géothermie pour le chauffage d'un Centre Hospitalier Universitaire et de 1 600 logements ;

lions de m<sup>2</sup> de bureaux ou locaux tertiaires.

De telles perspectives, qui peuvent apparaître optimistes, sont crédibles moyennant la mise en œuvre d'un certain nombre de mesures parmi lesquelles figureraient les suivantes :

- Poursuite de l'effort national d'incitation financière ; dans ce cadre, la participation de l'Etat pourrait être envisagée pour plus de 50 projets (pourvu que ceux-ci soient effecti-

	Nombre de logements ou équivalent-logements	Part de la géothermie dans la produc. d'énergie	Débit du doublet en m <sup>3</sup> /h	Economie annuelle d'énergie en tep	Année de mise en service
MELUN-L'ALMONT (77) ..	2 500	26 %	90	1 500	71
CREIL (60) .....	4 000	68 %	2 puits à 100	2 × 2 800	76
VILLENEUVE - LA - GARENNE (92) .....	1 700	80 %	200	2 700	76
MELUN SENART (77) « Les Courtilleiraies » 1 <sup>re</sup> tranche .....	2 300	75 %	120	2 300	77
HOUILLES (78) Rénovation urbaine .....	1 700	90 %	200	2 200	77/78
FONTAINEBLEAU (77) 1 <sup>re</sup> tranche .....	2 500	70 %	100	2 000	77 ?
COULOMMES-VAUCOURTOIS (77) .....	3,4 ha de serres	80 %	100	1 600	77/78 ?

A ces projets dont la probabilité de réalisation est grande, s'ajoutent des études anciennes qui n'ont pas encore été concrétisées ou des études très récentes dont les résultats ne sont pas encore connus. On peut citer parmi les opérations à ce stade :

- enfin, parmi les projets industriels, la géothermie a été envisagée pour les usines **IBM à Corbeil, Schlumberger à Montrouge, Kodak à Sevran**, ainsi que par la **CPCU à Ivry**, pour le réchauffage des eaux d'apport du chauffage urbain.

vement présentés).

### Perspectives de développement

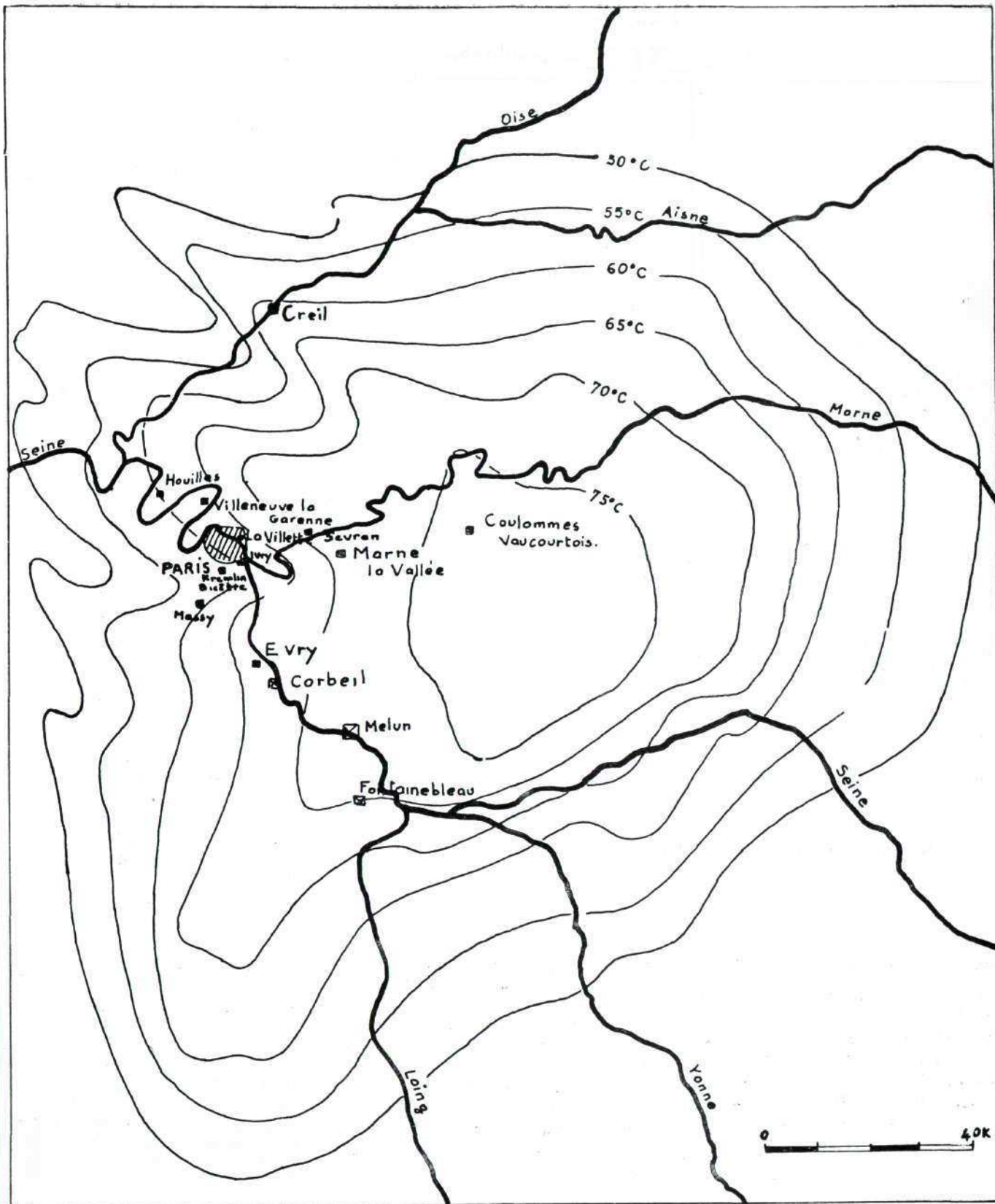
L'énumération de ces projets conduit donc à une vingtaine de doublets à l'étude ou en cours de réalisation dans la région parisienne. L'objectif de 100 doublets en 1985 correspond à un effort important. Il suppose la réalisation :

- d'une dizaine de doublets pour des usagers industriels ou agricoles spécifiques,
- de l'équipement d'environ 100 000 logements (anciens et neufs) pour le chauffage par la géothermie,
- de l'équipement de près de 4 mil-

- Encouragement régional, tout particulièrement dans les Villes Nouvelles qui, par leur situation géographique (Evry, Melun, Marne-la-Vallée) et leur potentiel de développement immobilier, constituent un terrain favorable à la géothermie. Une étude de faisabilité est en cours à ce sujet, réalisée conjointement par le BRGM, le BETURE et la CSTB.

- L'attention des Pouvoirs Publics devrait également être attirée sur le blocage que peut constituer la réglementation sur les prix plafond à la construction et sur les loyers. En effet, ce sont surtout les sociétés HLM ou le Secteur Social qui envisagent de réaliser des ensembles d'environ 2 000 logements pour lesquels le recours à la géothermie paraît concevable. Or, la législation actuelle permet difficilement aux propriétaires de répercuter sur leurs loyers les travaux d'investis-

- les projets de **Marne-la-Vallée** dont 4 000 logements et 100 000 km<sup>2</sup> de bureaux dans la ZAC de Noisiel ;
- les tranches ultérieures de la zone de rénovation de **Houilles** (2 300 logements) ;
- les tranches ultérieures de la **ZAC des Courtilleiraies** à Melun-Sénart (4 500 logements) ;
- à **Massy** environ 1 200 logements pourraient être raccordés à un réseau à basse température alimenté par la géothermie ;
- les projets d'**Evry** dont l'un d'eux



BASSIN PARISIEN

Carte en isothermes du Dogger

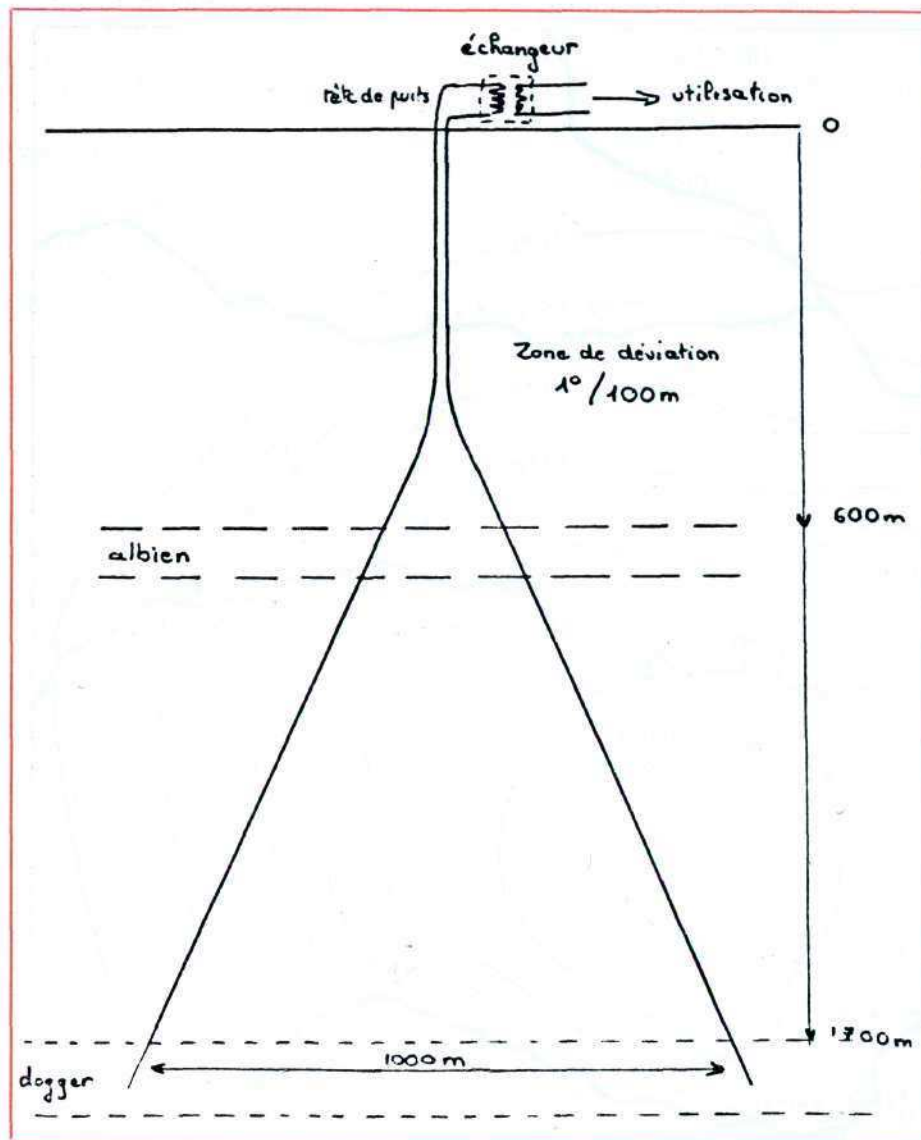


Schéma de profil théorique pour la réalisation d'un doublet dans le dogger

sement qui seraient occasionnés par la géothermie.

- En matière de définition des droits et obligations des promoteurs de la géothermie, des modifications et compléments prochainement apportés au Code Minier fourniront un support réglementaire pour la recherche et la mise en valeur des gîtes géothermiques.

- Enfin, il paraît indispensable de tirer parti des enseignements fournis par les premières expériences de réalisation pratique, ainsi il apparaît dès maintenant que l'adéquation des installations terminales aux caractéristiques spécifiques de

la géothermie est une condition essentielle de la rentabilité des opérations. Il s'agit là d'une contrainte supplémentaire à imposer aux constructeurs, mais qui ne diffère pas sensiblement de clauses d'obligation de raccordement fréquentes dans les conventions et concessions de distribution publique de chaleur que les municipalités sont habituées à passer de longue date.

L'accent a été mis dans cet article sur les perspectives de développement à moyen terme de la géothermie

en Région Parisienne. Nul doute que des recherches devront être poursuivies dans le domaine des valorisations originales de cette source d'énergie ; outre l'utilisation de pompes à chaleur (comme à Creil), citons par exemple le stockage des eaux chaudes résiduelles (7) dans des réservoirs géothermiques, ce qui apporterait une solution élégante à la fois au problème de l'épuisement de la ressource et à celui de l'utilisation de ces eaux, citons également la possibilité éventuelle de fabriquer de l'électricité, opération dont le rendement semble toutefois très faible (5 à 10 %), et qui paraît donc assez utopique en région parisienne compte tenu des températures basses.

Sans attendre ces développements ultérieurs, la Région Parisienne paraît déjà être en mesure, tant par ses ressources que par ses besoins, de jouer un rôle pilote pour le développement de la géothermie au cours de la décennie à venir. ■

(7) Centrales thermiques ou industries rejetant des effluents liquides à température moyenne (30 - 70 °C).

# BH

BLACKWOOD HODGE

distribue en France

Dumpeurs : de 17 t à 150 t

Chargeuses s/pneus : de 2,5 m<sup>3</sup> à 7 m<sup>3</sup>

Bulldozers : de 225 ch à 370 ch

Scrapers : de 15,3 m<sup>3</sup> à 35 m<sup>3</sup>

NCK Ransomes & Rapier

Pelles à câbles  
(dragline/butte) de 800 t à 3000 t

Grues sur chenilles de 20 t à 110 t

RayGo

Compacteurs vibrants  
de 2,13 m à 4,26 m 12.250 kg à 27.220 kg

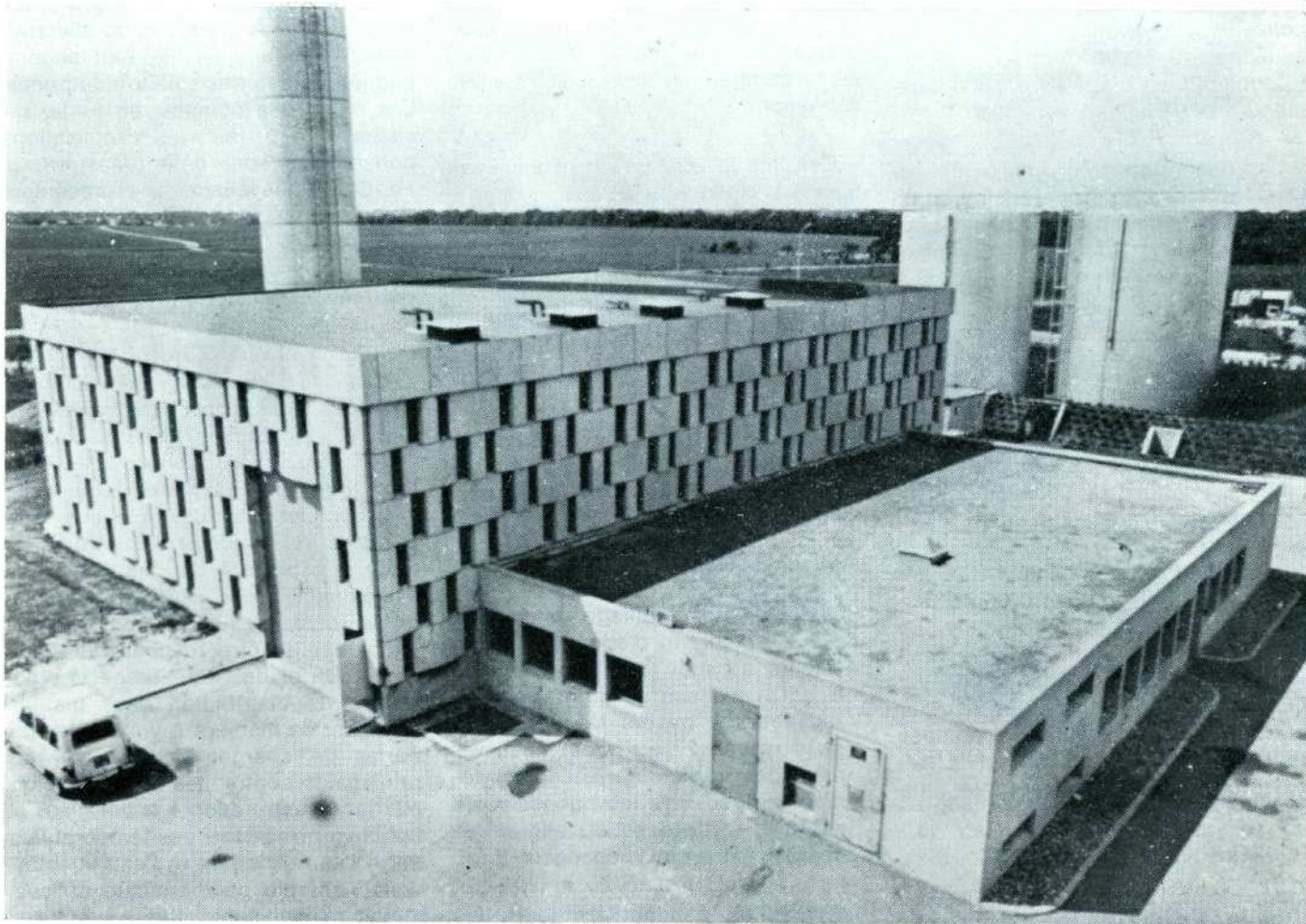
Stabilisatrices de sol  
largeur de coupe, 2,44 m à 0,41 m

Compacteurs pied de mouton  
avec ou sans lame bull

Koehring S.A.  
Groupe BLACKWOOD-HODGE

La Boursidière (F) R.N. 186 Tél. : 630.10.40  
92357 Le Plessis-Robinson Téléx : 270.644

tous matériels aux normes françaises



Melun - C.G.C.

# la géothermie

**le point de vue de l'exploitant de chauffage:  
le cas de la Z.U.P. de Melun-l'Almont**

par Pierre FAISANDIER

*Ingénieur des Ponts et Chaussées e. r.  
Administrateur de Cie Générale de Chauffe.*

## Les données principales

La ZUP de Melun-l'Almont a vu ses premières maisons habitées en 1970. Elle comprend aujourd'hui 2 400 logements qui, joints aux équipements collectifs, représentent une puissance souscrite de 21 000 th/h.

L'objectif est d'atteindre 3 000 logements et 30 000 th/h vers 1980.

La concession du chauffage collectif a été accordée à une équipe constituée par : les Etablissements Laurent-Bouillet, la Société Enerchauf et la Compagnie Générale des Eaux, à charge par eux d'ajouter à la chaufferie classique un doublet géothermique susceptible de fournir une partie de la chaleur.

Ce doublet est constitué par deux forages dont les têtes sont voisines, et les bases, à une profondeur de 1 920 m, écartées de 900 m. Celles-ci plongent dans la nappe du Dogger ; les forages sont artésiens, mais le débit naturel est très faible, de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/h. Les groupes de pompage installés en surface permettent de porter ce débit à 90 m<sup>3</sup>/h, moyennant une consommation d'énergie qui est loin d'être négligeable : la hauteur manométrique en aval des pompes de réinjection est de 142 m. L'eau exhaurée a une température de 71°5 C.

## L'utilisation de la chaleur géothermique

Cette température impose d'elle-même une limite à l'utilisation de cette énergie.

On l'emploiera d'abord pour la production d'eau chaude (dite sanitaire), chauffée aux environs de 60° et stockée dans deux cuves de 225 m<sup>3</sup> avant d'être distribuée dans les logements.

On l'utilisera également pour le chauffage, dans la mesure où le système retenu pour la distribution de chaleur dans les appartements est compatible avec la température de l'eau géothermique. Or — malheureusement — la majorité des logements est équipée de radiateurs et de

convecteurs qui exigent une température élevée et la géothermie ne peut servir qu'à réchauffer partiellement l'eau de retour ; le supplément d'énergie est fourni par la chaufferie au fuel.

En revanche, les appartements chauffés par panneaux de sol, dont la température est bien plus faible, permettent une meilleure utilisation de la géothermie, mais il y en a peu à l'Almont.

Dès lors le schéma du réseau (voir figure) s'explique aisément :

- le circuit de l'eau géothermale comprend le puits de sortie 12, la pompe de gavage des échangeurs 15, en parallèle les échangeurs eau chaude 6 et chauffage 5, la pompe de réinjection 14 et le puits de réinjection 13 ;
- le circuit de l'eau chaude sanitaire comprend, à la sortie de l'échangeur 6, les cuves de stockage 7, puis les pompes 8 qui refoulent vers le réseau 9 avec retour en 10, l'eau de ville arrivant en 11 ;
- le circuit de chauffage, plus complexe, comprend d'abord les générateurs au fuel G ; l'eau chauffée à 109° maximum se dirige vers les radiateurs à travers les pompes 1 et le réseau 2 ; au retour l'eau venant des radiateurs est partiellement dirigée vers les panneaux de sol, à la sortie desquels elle se réchauffe à travers l'échangeur 5.

En réalité, pendant les jours les plus froids, compte tenu de la température des retours, l'eau géothermale peut difficilement descendre au dessous de 50° C, ce qui limite à 21,5 l'écart de température utilisable.

## Les problèmes de l'exploitant

La Compagnie Générale de Chauffage, qui a été chargée de l'exploitation de l'ensemble, a eu deux problèmes principaux à résoudre : la corrosion par l'eau géothermale et l'utilisation optimale de cette dernière.

Sur le premier point, on a dû constater que les échangeurs d'origine, qui étaient de conception classique,

étaient perforés en quelques mois par la corrosion. Après divers essais on a dû adopter des échangeurs à plaques au titane, coûteux certes, mais de très bonne résistance. Evidemment la composition chimique de l'eau du Dogger explique ce phénomène : on y trouve du chlorure de sodium, des dérivés soufrés réducteurs, diverses matières organiques, le tout accompagné de bactéries sulfatoréductrices. Les roues des pompes, en fonte, résistent 2 à 3 ans ; les canalisations horizontales sont détériorées en un an. Ces renouvellements représentent une sujétion assez importante, mais supportable. On espère, sans en être tout à fait certain, que les forages eux-mêmes résisteront nettement plus longtemps.

Quant à l'utilisation optimale des calories, elle consiste à régler les circuits de manière à réinjecter de l'eau aussi froide que possible. Pour cela, il faut un système de régulations très complet, conduisant à une température relativement faible des retours. L'exploitant de chauffage doit évidemment avoir la maîtrise complète de toutes ces régulations ; il doit en particulier être responsable de la régulation et de l'équilibrage des colonnes de distribution dans les immeubles, de manière à y maîtriser les pertes de charge. Malgré cela, les principales contraintes sont imposées par le système adopté à l'origine, et l'on a vu que l'écart des températures entre l'eau exhaurée et l'eau injectée, donc l'énergie géothermique utilisée, restait relativement faible.

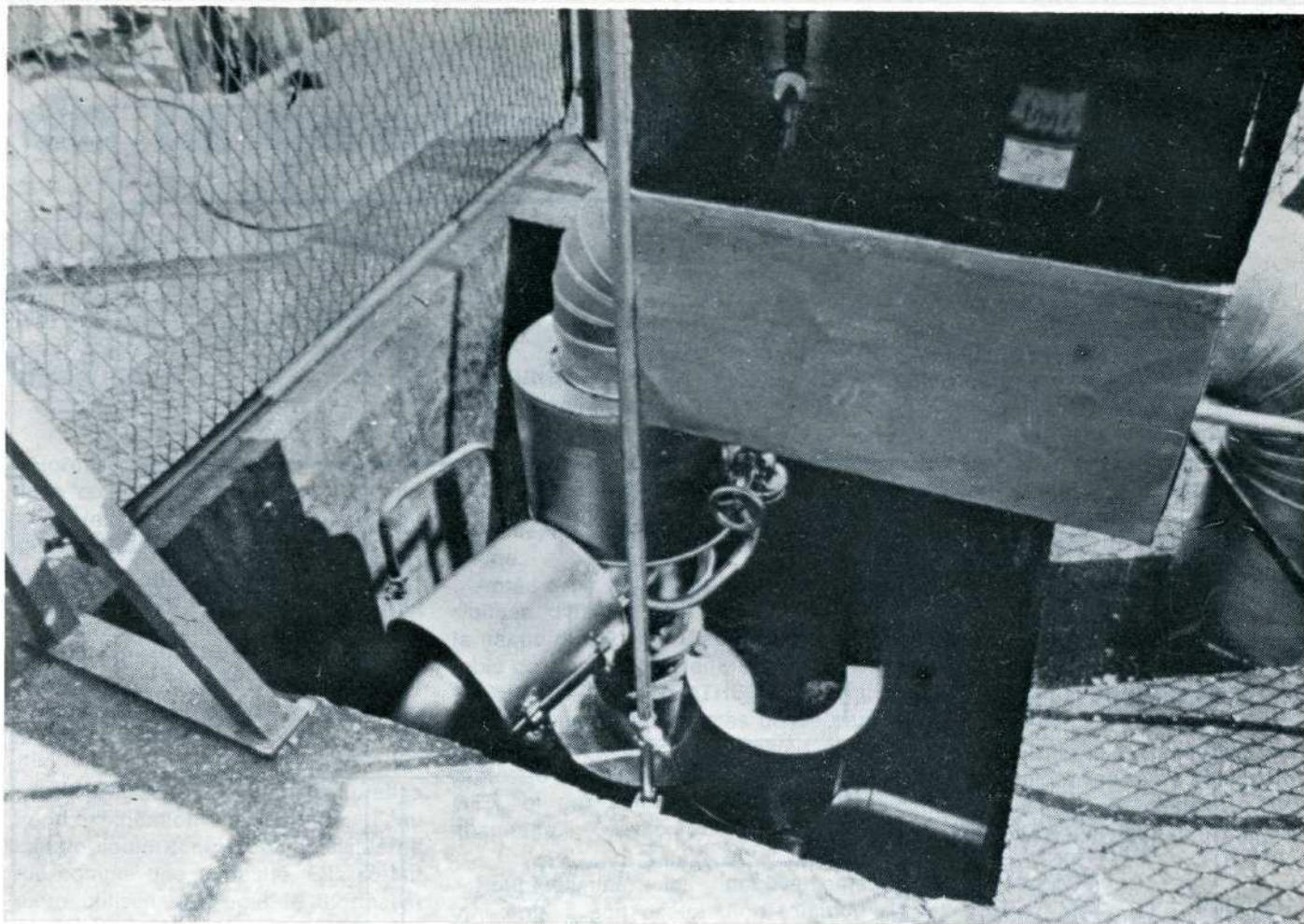
## Considérations économiques

Pour la saison de chauffe 1974/1975, 48 600 kilo thermies ont été distribuées dans la ZUP, dont 9 600 pour l'eau chaude ; 12 000 seulement proviennent de la géothermie, soit 25 %.

L'économie de fuel réalisée est de 1 500 T environ.

En face de cette économie, il faut considérer les coûts d'exploitation et de renouvellement des ouvrages géothermiques. Il faut surtout compter l'investissement correspondant à ces derniers.





Melun.

(Photo C.G.C.)

A l'époque, c'est-à-dire en 1969/1970, cet investissement a été de 2 800 000 F, entièrement à la charge du concessionnaire. Aujourd'hui — les foreurs font mieux leurs comptes — il en coûterait entre 7 et 8 000 000 F.

Alors, comment comparer cet investissement à une économie annuelle ?

L'opération n'était évidemment pas rentable à l'origine. Sous l'effet de la hausse considérable du prix du fuel, elle l'est devenue puisque, déduction faite des coûts du renouvellement, l'économie annuelle est de 300 à 400 000 F, ce qui permet d'amortir un investissement qui, lui, n'a pas été réévalué. De ce fait, la concession est apparemment en équilibre, malgré les prix de vente inférieurs à ceux des ZUP classiques, mais il ne s'agit que d'une apparence, puisque les ouvrages à amortir sont toujours comptés pour leur valeur nominale.

Ce phénomène risque d'être géné-

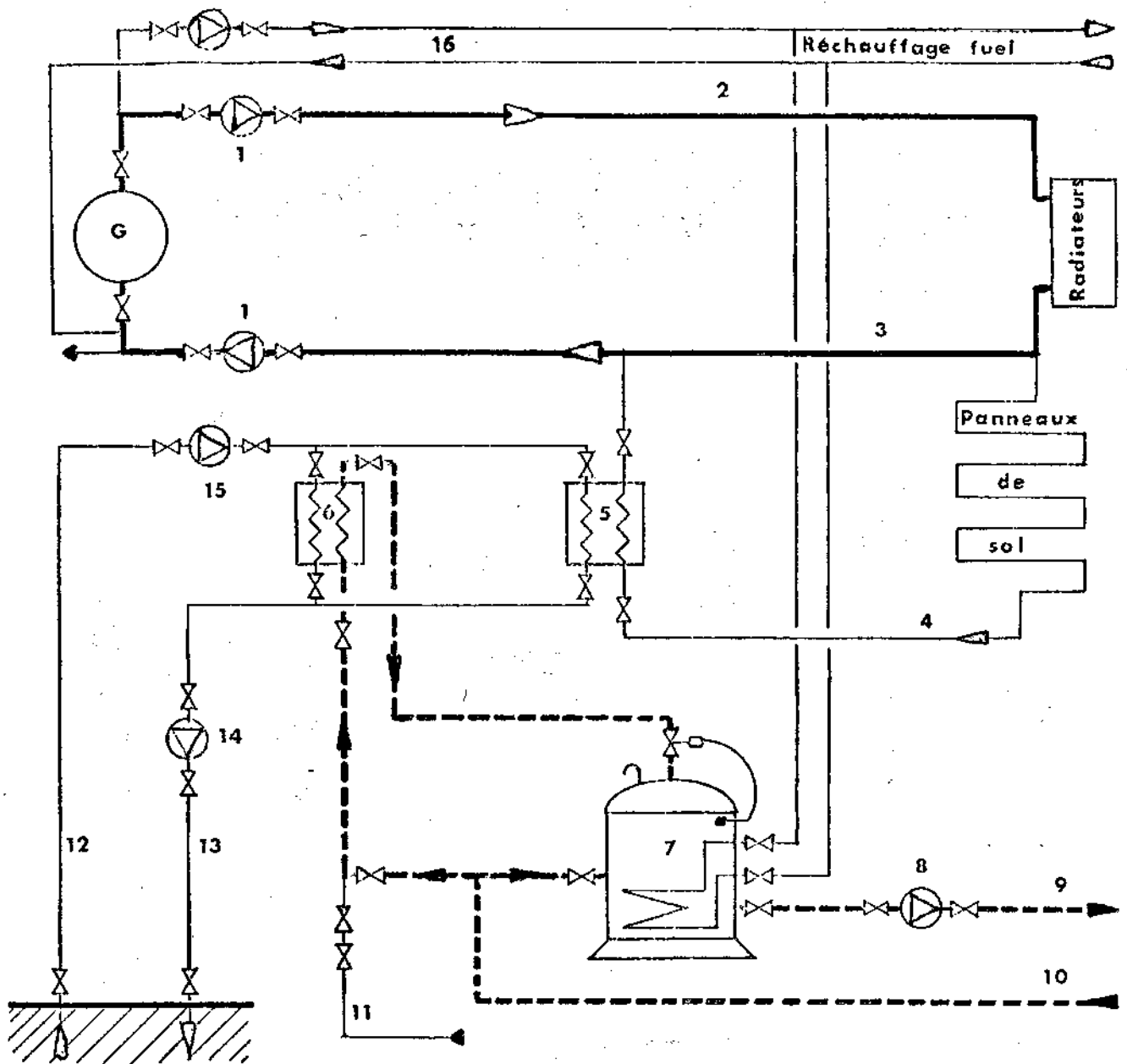
ral chaque fois qu'un investissement considérable doit être mis en balance avec un coût d'exploitation annuel ; ce dernier va croître d'année en année, en raison de l'érosion monétaire ou d'événements politiques. Les emprunts, eux, ne peuvent légalement être indexés ; leur taux d'intérêt est alors élevé, et les charges financières rendent l'opération très déséquilibrée à l'origine — ce qui explique les subventions ou bonifications accordées par l'Etat. Par la suite, l'inflation rend ces charges chaque année plus légères au point de faire bénéficier les habitants ainsi chauffés d'une rente de situation absolument injustifiée.

Dans le cas du chauffage par la géothermie, il y a d'autres contraintes administratives : la réglementation des prix impose qu'un prix  $P_1$ , représentatif des combustibles, soit explicité, tandis que la loi sur les loyers exclut des charges locatives tout ce qui est investissement ou renouvellement. L'application de ces règles rigides de

la géothermie ne manque pas de poser de sérieux problèmes, et des assouplissements sont à l'étude.

Si l'on faisait abstraction de ces contraintes artificielles, on pourrait supposer les investissements couverts par un emprunt indexé à faible intérêt ; la géothermie serait alors intéressante, à condition que, dès l'origine, on puisse concevoir et imposer des systèmes de distributions de chauffage adaptés à l'eau géothermale. Son utilisation serait alors bien meilleure ; elle pourrait être quasiment doublée par rapport à l'exemple de Melun, et porter sur 50 % au moins de l'énergie utilisée ; l'économie annuelle pourrait être de 7 à 800 000 F et permettre d'amortir les ouvrages propres à la géothermie.

Il semble, en définitive, que la géothermie ne puisse être intéressante que moyennant un certain nombre de conditions difficiles à réaliser, ce qui ne peut que limiter son utilisation. ■



- |  |  |
|--|--|
| G : Générateurs  | 8 : Pompes de mise sous pression de l'ECS  |
| 1 : Pompes réseau  | 9 : Départ réseau ECS                      |
| 2 : Départ réseau  | 10 : Retour réseau ECS                     |
| 3 : Retour radiateurs  | 11 : Arrivée d'eau de ville                |
| 4 : Retour panneaux de sol                                   | 12 : Puits de sortie d'eau thermique       |
| 5 : Echangeur de réchauffage du retour panneaux de sol       | 13 : Puits de réinjection d'eau thermique  |
| 6 : Echangeur de réchauffage de l'eau sanitaire              | 14 : Pompes de réinjection d'eau thermique |
| 7 : Réservoir de stockage de l'ECS (2 × 225 m <sup>3</sup> ) | 15 : Pompes de gavage des échangeurs       |
|  | 16 : Circuit de réchauffage fuel           |

# UNE CONCEPTION FRANÇAISE DE LA GÉOTHERMIE

par P. MAUGIS

*Société Technique de Géothermie.*

---

## Introduction

---

Hormis certaines régions privilégiées comme la Hongrie et l'Islande où la ressource est particulièrement abondante, aucun pays n'avait envisagé un programme systématique de recherche et d'exploitation de l'eau chaude souterraine. On peut même dire que jusqu'à la récente crise de l'énergie peu de pays considéraient l'eau chaude souterraine comme une énergie potentielle.

Qu'il s'agisse de sources naturelles ou d'exploitation par forage, l'eau chaude souterraine n'était considérée que comme une curiosité. Elle n'était guère utilisée que pour le thermalisme et accessoirement pour alimenter des piscines ou des installations de chauffage souvent artisanales.

L'énergie abondante et bon marché n'incitait d'ailleurs pas à rechercher la difficulté. Il existait, en outre, des raisons très objectives au manque d'intérêt suscité par l'eau chaude souterraine :

- les travaux réalisés pour améliorer les captages de certaines sources chaudes naturelles n'ont pas toujours obtenu de résultats satisfaisants et ont même, dans certains cas, provoqué une diminution du débit naturel ;
- les puits réalisés à grande profondeur n'ont presque jamais permis de maintenir des débits élevés sur une longue période ;
- la salinité élevée des eaux chaudes souterraines a presque toujours interdit que celles-ci soient évacuées en surface de manière à ne pas polluer les eaux douces superficielles et à préserver l'environnement.

---

## La naissance d'un prototype

---

Dès 1965, une société française s'est cependant intéressée à ce problème.

Après avoir étudié les diverses possibilités d'améliorer l'exploitation de la nappe de l'Albien (nappe d'eau potable du Bassin Parisien), la SOCIÉTÉ TECHNIQUE DE GEOTHERMIE s'est penchée sur les problèmes posés par l'exploitation d'une nappe salée plus profonde et plus chaude : le DOGGER, et par son utilisation pour le chauffage.

Pour éliminer les inconvénients inhérents à son exploitation (difficulté de maintenir un débit constant, pollution par les eaux de rejet) la SOCIÉTÉ TECHNIQUE DE GEOTHERMIE étudia les possibilités techniques et économiques d'une exploitation d'eau avec injection simultanée.

Ce nouveau dispositif imposait pour chaque unité de production la réalisation de deux forages au lieu d'un.

Pour préciser le risque de pollution thermique de l'eau produite par l'eau injectée, une méthode de calcul fut proposée. Malgré l'importance de l'investissement imposé par cette formule, il a pu être démontré dès 1968 qu'une telle réalisation pouvait être rentable.

La technique de l'injection, déjà utilisée pour augmenter le débit de certains puits de pétrole, n'avait cependant jamais été appliquée à la production d'eau chaude souterraine.

La SOCIÉTÉ TECHNIQUE DE GEOTHERMIE rechercha par conséquent, dès cette époque, une possibilité de réaliser l'expérience en vraie grandeur. Il était en effet indispensable,

avant de proposer ce dispositif aux utilisateurs éventuels, de vérifier le bien-fondé des hypothèses émises.

La Ville de MELUN ayant lancé un appel d'offre pour la réalisation d'une unité de chauffage urbain, la SOCIÉTÉ TECHNIQUE DE GEOTHERMIE proposa que 10 % de la puissance installée fut d'origine géothermique.

Cette proposition fut acceptée et l'essai en vraie grandeur de ce nouveau procédé put être réalisé en 1969.

Ceci n'a été possible que grâce à la confiance que m'ont témoigné tous ceux qui m'ont permis d'aboutir à cette réalisation. Je tiens ici, une nouvelle fois à leur exprimer ma gratitude.

---

## Réalisation et fonctionnement du chauffage urbain de Melun-Almont

---

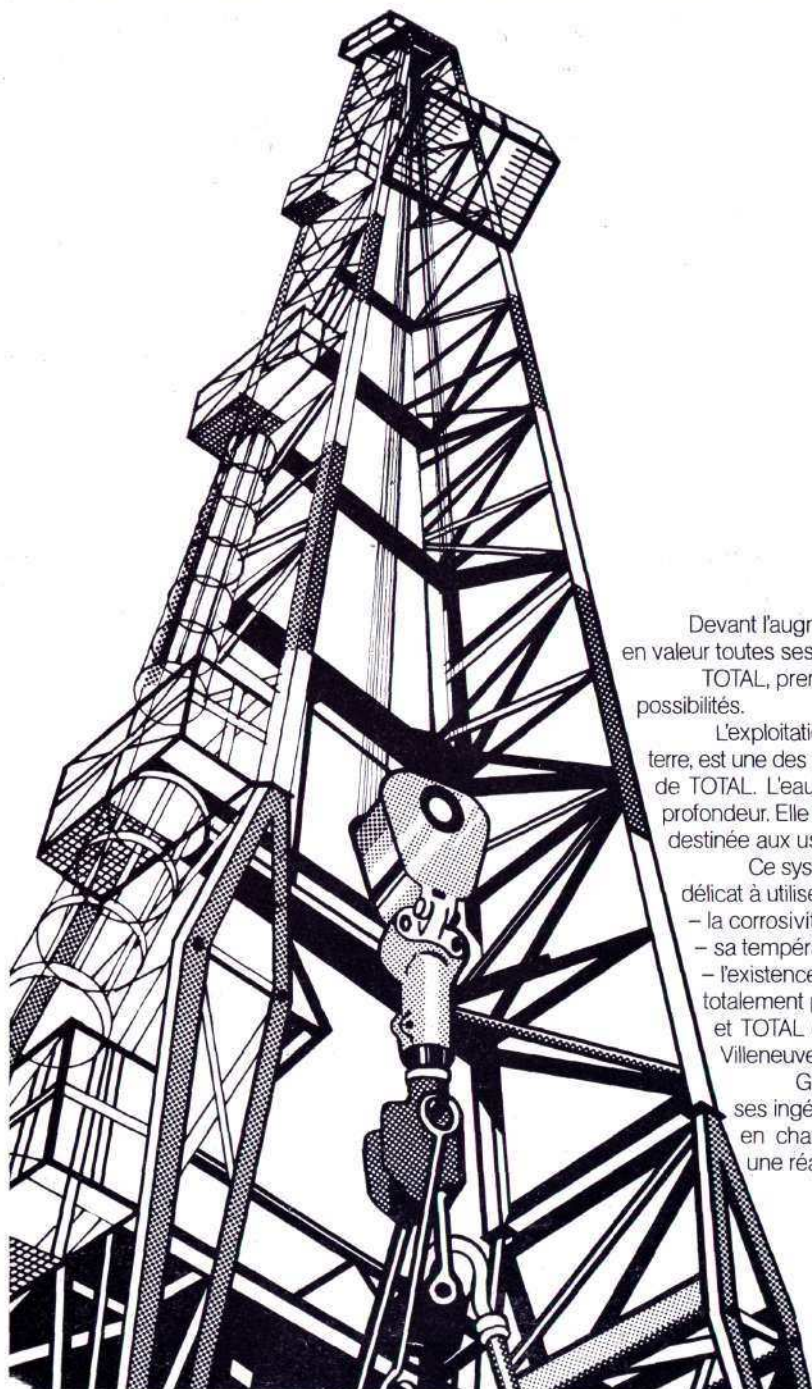
Lorsque les travaux de forage commencèrent en 1969, 600 logements seulement, sur les 3 000 prévus étaient construits. Ils étaient alimentés par une chaufferie provisoire.

Les deux puits furent forés en trois mois. Ils ont atteint le toit du réservoir à une profondeur de 1 720 m environ. Par souci d'économie, les deux puits furent forés au départ d'une même plate-forme.

Ce dispositif évite :

- l'aménagement d'une deuxième plate-forme de forage qui, dans le cas de MELUN, aurait dû se situer à 900 m environ de la première ;
- le démontage de l'appareil de forage en cours de travaux ;
- la réalisation et l'entretien d'une conduite horizontale de 900 m.

# Nous sommes allés chercher la chaleur de la terre.



Devant l'augmentation du prix du pétrole brut, la France doit mettre en valeur toutes ses ressources d'énergie.

TOTAL, premier pétrolier français, explore un certain nombre de possibilités.

L'exploitation de la géothermie, la chaleur des profondeurs de la terre, est une des recherches les plus avancées et les plus spectaculaires de TOTAL. L'eau chaude (65° environ) est puisée à 1800 m de profondeur. Elle cède ses calories par échangeur qui réchauffe l'eau destinée aux usages domestiques et au chauffage.

Ce système, très simple dans sa théorie, est en fait rendu très délicat à utiliser pour de multiples raisons dont les principales sont :

- la corrosivité de l'eau puisée,
- sa température relativement faible (65°),
- l'existence d'une couche d'eau potable intermédiaire qu'on a dû totalement protéger. Toutes ces difficultés doivent être maîtrisées et TOTAL chauffe par géothermie 1800 logements à Villeneuve-la-Garenne, dans la région parisienne.

Grâce à TOTAL, à ses géologues, ses foreurs, ses ingénieurs thermiciens et ses spécialistes de l'exploitation en chauffage, une théorie séduisante est devenue une réalité pour 6000 habitants de l'Île-de-France.

**TOTAL**  
Toutes les énergies

Pour atteindre, au toit du réservoir, la distance prévue de 900 m entre le point de production et le point d'injection, les deux puits sont forés en déviation.

Lors des essais de mise en production en trou ouvert le débit naturel artésien a atteint 140 m<sup>3</sup>/h. Trou fermé, la pression statique en tête de puits est de 7 bars. Après branchement sur les échangeurs et mise en route de la pompe d'injection, le débit s'est stabilisé à 90 m<sup>3</sup>/h environ.

La pression de service est de 1,2 bar à la production et de 12 bars environ à l'injection.

- la température de l'eau souterraine est de 73° C à la production. A l'injection, la température varie de 30° C à 50° C en fonction de la quantité d'énergie thermique prélevée au niveau des échangeurs thermiques.

Débit et température n'ayant pas varié depuis la mise en service en 1971, on peut considérer que les hypothèses émises, concernant la ressource géothermique, sont vérifiées. C'était le but principal de cette opération.

Examinons maintenant l'utilisation qui est faite à MELUN-ALMONT des calories d'origine géothermique.

L'exploitant dispose en fait en permanence d'un débit de 90 m<sup>3</sup>/h d'eau à 73° C, soit une puissance installée théorique variable (puisque la température d'injection varie) de 2,07 kth/h à 3,87 kth/h (2 400 à 4 900 KW).

Dans le cas d'une injection à 10° C, cette puissance pourrait atteindre 5,67 kth/h soit près de 6 500 KW.

Pour alimenter l'ensemble de la ZUP de MELUN en eau chaude sanitaire, seule une partie de la puissance de l'installation géothermique est utilisée (1,4 kth/h environ). Cette puissance faible mais utilisée en continu, permet d'assurer à elle seule plus de 50 % de l'économie de fuel réalisée grâce à la géothermie.

En ce qui concerne le chauffage des locaux, il s'agit en fait d'une installation mixte géothermie-fuel.

Celle-ci est cependant tout à fait comparable aux centrales classiques de chauffage urbain à basse pression ; les chaudières au fuel produisent un

fluide à température fixe : 110° et à débit variable. Celui-ci est mélangé à la sortie des chaudières à l'eau de retour du circuit de distribution pour atteindre la température requise de distribution (température variant théoriquement de 90° par — 7° extérieur à 20° par 20° extérieur). Ce circuit de distribution alimente en énergie thermique l'ensemble des logements de la ZUP dont une partie est chauffée par panneaux de sol. Grâce à ceux-ci, la température de retour du fluide caloporteur est peu élevée (25 à 45° C). Sans la présence des panneaux de sol, ce fluide atteindrait en plein hiver une température de retour supérieure à 70° C et à ce moment-là, le potentiel énergétique de l'eau géothermale ne pourrait être utilisé.

A MELUN les échangeurs géothermiques ont précisément pour fonction de relever la température de ces retours de manière à alimenter en permanence les chaudières à une température voisine de 65° C.

En fait l'énergie géothermique est utilisée pour assurer le préchauffage du fluide caloporteur avant son passage en chaudière.

Alors que la puissance thermique de la géothermie est ici très faible par rapport à la puissance totale de la chaufferie, la quantité de chaleur ainsi prélevée sur le fluide souterrain peut atteindre 30 à 40 % de la quantité globale de chaleur nécessaire pour l'ensemble des 3 000 logements. Ceci représente un taux

d'exploitation supérieure à 50 % de l'énergie géothermique disponible.

Ce résultat devra bien entendu être amélioré dans l'avenir, mais s'agissant d'une première réalisation de ce type, doit être considéré comme très acceptable.

## Perspectives d'avenir du procédé

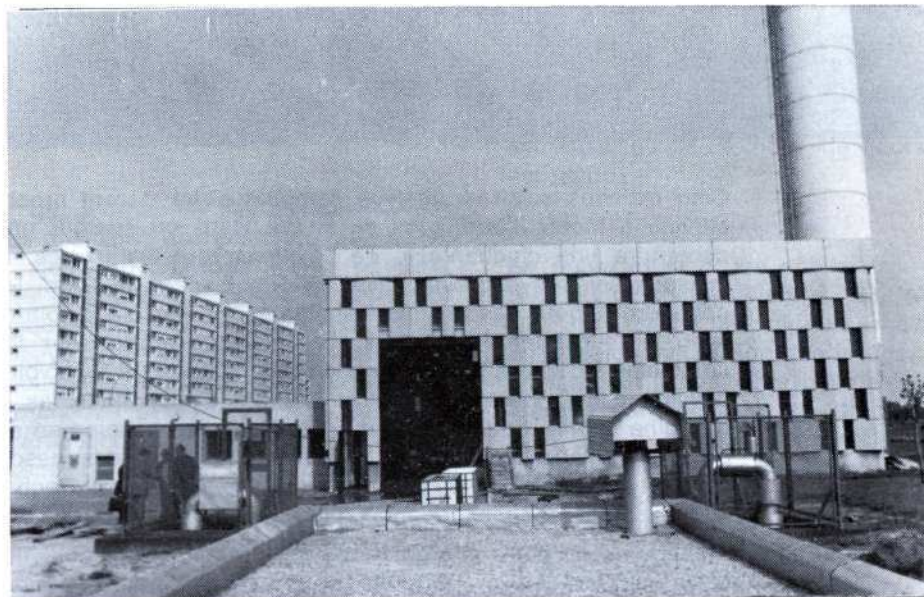
Dans la mesure où seront développés des systèmes de chauffage fonctionnant à température peu élevée (chauffage par panneaux, chauffage à l'air etc...), l'utilisation des eaux géothermales à basse température pour le chauffage des logements pourra se généraliser.

En dehors des agglomérations, d'autres applications peuvent être envisagées pour l'industrie et surtout pour l'agriculture.

Qu'il s'agisse d'applications urbaines industrielles ou agricoles, une utilisation maximum des calories disponibles devra être recherchée et dans de nombreux cas plusieurs utilisateurs devront se grouper pour justifier, par une utilisation la plus complète possible de l'énergie ainsi mise à disposition, l'importance des investissements à réaliser.

Melun-Almont.

(Photo Sté Technique de Géothermie)





# ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

## Cinq maisons solaires au Havre



Cinq maisons solaires, de type semi-industriel, seront prochainement mises en service à Montgaillard, près du Havre, dans un secteur où l'on vient déjà de construire une cinquantaine de pavillons tout électriques. A la différence des maisons solaires expérimentales d'Aramon, dans le Gard, les capteurs solaires occuperont, pour des raisons esthétiques, un pan de la toiture et se confondront avec le revêtement. Quatre de ces maisons auront leur toit incliné à 45°, la cinquième à 61°. Les capteurs serviront à chauffer un réservoir individuel à chaque pavillon d'une contenance de 3 000 litres d'eau. Selon les prévisions, l'énergie d'origine solaire pourra assurer 50 à 60 % des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage pendant les mois froids, 100 % des besoins en eau chaude pendant les mois d'été. La Direction des Etudes et Recherches d'E.D.F. suit attentivement cette expérience, pour laquelle elle a joué le rôle de conseiller technique.

Photothèque E.D.F. - Cliché J.-L. Desnos

# la géothermie : la conception est primordiale

## *l'exemple de Creil*

par Jacky DESLANDES

*Ingénieur Arts et Métiers,  
Ingénieur Conseil TETA S.A.*

---

### Introduction

---

Qu'est-ce que la géothermie ?

La géothermie c'est l'utilisation de la chaleur des eaux souterraines. Le principe consiste à extraire de l'eau chaude à partir d'un premier forage, à utiliser une partie de sa chaleur, et à réinjecter, éventuellement, l'eau froide dans le sol au moyen d'un autre forage.

Du point de vue du thermicien, la géothermie basse température a trois caractéristiques essentielles :

- des investissements élevés : cette eau est contenue dans un réservoir coûteux à atteindre ;
- un combustible « gratuit » : en négligent les frais de pompage ;
- une température basse : en général inférieure à 70 ou 75 °C, ce qui est au-dessous de la température de retour de la plupart des installations de chauffage traditionnel.

Les bases de raisonnement habituelles du concepteur sont donc totalement modifiées.

La conception des installations se situe à deux niveaux :

- à la production : dans la définition des systèmes de récupération de la chaleur des eaux

géothermales, d'une part pour assurer le maximum des besoins en puissance installée, mais surtout pour limiter les consommations d'énergie traditionnelle pendant l'année ;

- à l'utilisation : dans la recherche des systèmes d'émission de chaleur en les adaptant au programme de confort et en les intégrant dans l'architecture des bâtiments, pour une utilisation rationnelle et une exploitation économique.

La conception des installations de production et celle des systèmes d'émission sont donc très liées.

---

### Principes généraux de conception

---

La géothermie est essentiellement un problème de rentabilité.

Nous connaissons d'ores et déjà les solutions techniques et technologiques même si certaines innovations peuvent les améliorer, mais nous ne pouvons pas approprier un résultat à chaque système. Chaque cas est particulier puisque les hypothèses sont différentes : température de l'eau, implantation des forages, programme de réalisation, usage et destination des locaux chauffés, durée d'utilisation, confort souhaité, sécurité

de fonctionnement désirée, taux et durée d'amortissement.

Néanmoins, même si sa recherche est délicate, la rentabilité d'une opération géothermique passe par la maximisation simultanée :

- **maximisation du temps d'utilisation annuelle :**

En simplifiant, la rentabilité est concrétisée par le rapport de l'investissement sur la part des consommations fournies, et elle sera d'autant meilleure que le nombre d'heures d'utilisation sera élevé.

En conséquence, la puissance installée en géothermie doit être largement complétée par une puissance d'appoint d'un investissement faible, de façon à ce que la géothermie soit utilisée en tranche de base, et l'énergie traditionnelle chère en appoint, pendant les périodes extrêmes ou le nombre de jours est limité.

- **maximisation du débit de forage :**

En puits artésien, les débits espérés sont compris entre 60 et 100 m<sup>3</sup>/h, selon les régions, mais aussi selon la position des forages. La mise en place d'une pompe immergée dans le puits d'extraction peut arriver à doubler les valeurs de débit artésien, mais au prix d'une augmentation importante de la résistance au pompage, donc au prix d'une consommation électrique d'autant plus élevée.



La géothermie en Californie.

(Photo Rapho)

Il faut d'ailleurs noter que les puissances de pompage à mettre en jeu sont beaucoup plus fortes à la réinjection qu'à l'extraction, le pompage à la réinjection étant nécessaire même avec un fonctionnement artésien du puits d'extraction.

Il est donc souhaitable de rechercher un équilibre entre les frais de pompage supplémentaires et la quantité de chaleur récupérée. L'augmentation du débit, au double voire au triple, est un facteur de rentabilité, même en tenant compte de l'augmentation des frais de réseau en surface et des nécessités technologiques liées à la pompe immergée, dont le coût d'investissement n'est pas négligeable.

• **maximisation de l'écart de température :**

A priori, l'écart de température entre le forage d'extraction et le fo-

rage de réinjection doit être le plus élevé possible ; en effet, plus la température de rejet est basse, plus le potentiel géothermique récupéré est important, et meilleure doit être la rentabilité de l'installation, tout au moins du point de vue énergétique.

Ce principe est vrai lorsque les installations intérieures sont des systèmes simples ayant une émission à basse température.

Mais ce principe ne doit pas être appliqué avec rigueur lorsque les installations de production sont complétées par des pompes à chaleur, permettant d'abaisser au maximum la température de rejet ; en effet, en période de demi-saison, il peut être plus intéressant de réhausser la température de rejet en supprimant le fonctionnement de ces appareils mécaniques complémentaires, évitant ainsi leur consommation en électricité.

## Aspects économiques

### La recherche d'une rentabilité

D'une façon générale, par comparaison aux énergies traditionnelles, l'utilisation de l'énergie géothermale met en jeu des investissements importants et conduit à des frais d'exploitation faibles ou modérés.

Sans chercher à donner des valeurs très précises, un ordre de grandeur peut situer les mesures de cette comparaison, pour une même puissance installée :

- un investissement de 3 à 5 fois supérieur à celui d'une chaufferie classique,
- une consommation, dans la mesure où les frais de pompage sont limités à un échange direct, de 3 à 5 fois inférieure à l'énergie traditionnelle.



Aussi, même si la technologie à adapter reste particulière et les systèmes quelquefois complexes, la conception des installations repose essentiellement sur l'aspect financier.

La démonstration de rentabilité doit donc s'appuyer :

- sur l'évaluation des investissements.
- sur la nature et la durée de l'amortissement,
- sur l'estimation des consommations,
- sur la définition des prestations d'entretien et d'exploitation.

### L'évaluation des investissements

Les investissements sont importants et représentent pour les Maîtres d'Ouvrage une recherche de capitaux et une gestion financière quelquefois difficiles.

Aussi, l'évaluation du coût global de l'opération ne doit pas être approximative mais relativement précise, la marge d'erreur pouvant être capitale dans le résultat de l'opération.

Il est alors nécessaire de mener des préconsultations, soit de matériels, soit d'installations, pour pouvoir organiser une étude d'optimisation sérieuse.

Donner des ratios, et surtout s'en servir, serait dangereux mais il est intéressant de les connaître pour mieux les apprécier, par comparaison à d'autres systèmes (valeur TTC janvier 1976) :

- forages  
(un doublet y compris les pompes d'extraction et de réinjection : 5 500 000 à 7 000 000 F ;
- canalisations aller et retour résistant à la corrosion, calorifuge à l'aller, y compris terrassement : 300 F/ml ;
- échangeurs  
(y compris sujétions de raccordement) : 500 000 à 700 000 F/forage, soit (200 à 300 F/Th/h récupérée) ;
- Pompes à chaleur :  
(y compris raccordement, régulation, alimentation électrique et autres sujétions, pour des machines supérieures à 2 000 Kg/h) : 700 à 900 F/Kg/h.
- chaufferie traditionnelle :  
(équipement, raccordement, génie civil, conduit de fumée, stockage) : 220 à 260 F/Th/h.

Pour établir le bilan économique complet, il ne faut pas oublier :

- de définir le planning mensuel des investissements ainsi que le planning des dépenses et recettes d'exploitation,

- d'actualiser toutes ces dépenses ainsi planifiées.

A ce bilan d'investissement des installations techniques, il faut ajouter différentes servitudes, qui ne se soldent pas forcément par une dépense mais tout au moins par une charge pure et simple, voire des contraintes administratives :

- l'achat ou la location du terrain pour l'emplacement du forage : si les installations définitives sur chaque puits sont limitées aux vannages et aux pompes, il est nécessaire d'aménager auparavant un terrain d'une surface totale de 0,5 à 1 ha, très facile, pour mettre en place l'ensemble de l'infrastructure comprenant la plate-forme, le derrick, le stockage de tubes et le réservoir des boues,
- le dédommagement éventuel des riverains : pendant la durée du forage, soit environ 4 à 6 semaines, les installations sont bruyantes et la nécessité d'insonoriser les têtes de forage, lorsqu'elles sont situées à proximité d'immeubles habités, entraîne une dépense supplémentaire,
- l'achat ou la location de terrains sur une bande de 2 à 3 m de large sur toute la longueur du réseau de liaison entre les forages et la chaufferie,
- la difficulté de traverser les chaussées, ou les ensembles d'habitations existantes pour le passage des réseaux d'eau géothermale.  
Ces obstacles ne sont pas insurmontables mais il ne faut pas oublier de les appréhender.

### Une politique d'amortissement

Dans la démonstration de la rentabilité d'une opération géothermique, le problème de l'amortissement est de toute première importance, du fait de la taille des investissements engagés, en comparaison au faible coût d'exploitation.

Il est exclu de chercher à amortir les installations dans les premières

années. La durée de l'amortissement habituelle est de 30 ans et sur cette période, l'annuité d'amortissement est extrêmement proche du taux d'intérêt : 0,081 pour un taux de 7 % et 0,106 pour un taux de 10 %.

Deux techniques d'amortissement s'avèrent possibles :

- soit appliquer l'annuité équivalente au taux d'intérêt du capital emprunté et espérer une rentabilité croissante au fil des années, la dérive des prix de combustible traditionnel aidant,
- soit considérer l'annuité d'amortissement indexé sur l'inflation et le coût d'exploitation équivalent en francs constants toute la durée de l'utilisation.

Si la première solution permet d'envisager l'avenir avec moins d'appréhension, la seconde solution semble être le raisonnement normal puisque une telle installation est destinée à rendre un service identique pendant 30 ans, les frais d'exploitation devenant très faibles par rapport à une solution traditionnelle.

### L'estimation des consommations

La principale difficulté réside dans l'évaluation des consommations, les méthodes classiques n'étant pas applicables dans le cas présent, et pouvant même conduire à des erreurs importantes.

En effet, la part de chaque énergie varie en fonction des conditions extérieures. Egalement, la recherche d'optimisations successives dans les différents systèmes, conduit à des points de transition dans l'exploitation de chaque procédé. Dans ce domaine, les procédés d'informatique peuvent nous aider mais de façon insuffisante, tout au moins incomplète, les systèmes étant quelquefois complexes, et les choix relevant souvent du discernement. Aussi, est-il indispensable et préférable de visualiser les résultats par des diagrammes.

Dans le calcul des consommations, il ne faut pas oublier le coût unitaire de chaque énergie :

- si nous connaissons parfaitement le coût calorifique de chaque combustible traditionnel, au jour le jour, nous ne connaissons pas sa stabilité relative. Quel sera le coût du fuel

ou du charbon dans les 30 prochaines années ?

- dans l'estimation des consommations d'électricité, notamment dans le cas de solution utilisant des pompes à chaleur, il est très regrettable de devoir appliquer les bases tarifaires classiques de l'électricité. En effet, ces machines nécessitent des puissances installées importantes et l'interruption de leur fonctionnement pendant les heures de pointe, même si techniquement elle n'est pas très cohérente, réduit sensiblement les frais d'exploitation. La tarification électrique ne semble pas adaptée à la géothermie, tout au moins pour les pompes à chaleur. Faut-il alors envisager des centrales de production combinée d'énergie et de chaleur avec turbine à vapeur ou à gaz, ou moteur diesel ou à gaz ?

### Les frais d'entretien et d'exploitation

Le poste d'entretien, de renouvellement du matériel et d'exploitation est très comparable à celui d'une chaufferie classique, les systèmes de récupération d'eau géothermale étant souvent simplifiés à des échangeurs, et de toute façon étant complétés par une chaufferie classique, en appoint.

La valeur annuelle du renouvellement du matériel n'est pas non plus supérieure, dans le cas où les technologies sont adaptées, notamment pour ce qui concerne les matériaux qui doivent être résistants à la corrosion pour le transport et l'échange de l'eau géothermale. Même les pompes à chaleur, si elles apparaissent quelquefois complexes, sont des matériels fiables.

### La rentabilité globale

La comparaison doit être effectuée entre la géothermie et une énergie traditionnelle, en cumulant l'amortissement des installations aux frais d'exploitation. Ensuite, ou simultanément, un bilan comparatif doit être dressé pour les différentes solutions techniques possibles avec la géothermie : c'est l'optimisation des systèmes.

## Conception de la production

### L'emplacement des forages

Le choix de l'emplacement des fo-

rages n'est pas simple, et il y a lieu de résoudre et de coordonner :

- l'éloignement à la base,
  - l'altitude artésienne,
  - l'emprise de l'infrastructure,
  - les bruits des installations pendant le forage,
  - la liaison avec la centrale de production.
- Deux techniques de forage se concurrencent de façon à obtenir l'éloignement nécessaire :
- soit deux forages déviés réalisés au même droit,
  - soit deux forages verticaux éloignés en surface du sol avec une liaison horizontale par des réseaux enterrés.

### Les pompes de forage

Les pompes immergées d'extraction et les pompes centrifuges de réinjection sont d'un coût appréciable à l'installation mais surtout à l'exploitation. Il y a lieu d'optimiser leur détermination au niveau des besoins maxi mais aussi au niveau de leur exploitation. Il n'est pas possible de réaliser une régulation de débit sur ces pompes, et il n'est pas souhaitable de les faire fonctionner par trains successifs d'arrêt et de mise en route. En revanche, il est important d'obtenir une gamme de débits relativement bien étalés, de façon à pouvoir sélectionner la valeur répondant le mieux au régime d'exploitation de la centrale.

### Transport d'eau géothermale

La réalisation des réseaux de transport d'eau géothermale, entre les puits de production ou de réinjection, pose plusieurs problèmes essentiels :

- la corrosion,
- la limitation des pertes de température,
- la limitation des pertes de charges,
- la résistance à la température,
- la résistance à la pression.

Les deux derniers aspects devant être respectés compte tenu de la nature des matériaux qui doivent être choisis pour résister à la corrosion.

### Les échangeurs

Les écarts de température, entre le réseau géothermal et le réseau primaire, doivent être le plus faible pos-

sible, mais le prix des échangeurs en est d'autant plus élevé. Il y a donc lieu d'optimiser les échangeurs, en recherchant la meilleure capacité d'échange, quotient de la puissance nominale par l'écart moyen logarithmique, par rapport à la valeur de récupération d'énergie annuelle, sans oublier de compter les frais de pompage primaire et secondaire au travers des échangeurs. Si les appareils sont relativement simples, la recherche de leurs caractéristiques optimales est compliquée : surface d'échange, débit primaire, débit secondaire, températures d'entrée et de sortie, fonctionnement à contre courant, en parallèle ou en série.

### Les pompes à chaleur

L'étude de faisabilité des pompes à chaleur, doit être réalisée de façon marginale après optimisation complète de la solution échangeur simple.

Les pompes à chaleur représentent un artifice permettant d'abaisser la température de réinjection de l'eau de forage, mais ne peuvent s'avérer intéressantes que si les économies de consommation avec échangeur seul sont insuffisantes par rapport à la taille de l'opération, ou consécutives à des températures de retour des installations intérieures trop élevées.

Une nouvelle fois, le problème d'optimisation de la puissance des pompes à chaleur doit être cerné avec soin. Il est hors de question de dimensionner les pompes à chaleur au niveau de la puissance maximale susceptible d'être extraite de l'eau de forage, ni de décider de la renvoyer dans la nappe à 5 °C par exemple, quelle que soit la température des retours des installations secondaires.

Il ne faut pas non plus considérer les pompes à chaleur comme un système d'appoint à l'échange géothermal, pour compléter les besoins maxi pendant les périodes extrêmes, mais comme un système associé à l'échange direct, l'ensemble de ces deux systèmes devant trouver un nombre d'heures d'utilisation élevé pendant l'année.

### La production d'appoint

Tous les bilans de rentabilité montrent la nécessité d'une part importante de la puissance d'appoint : en général, elle représente 60 à 75 %

des besoins totaux, et n'est utilisée que 20 à 30 % pendant l'année, notamment pendant les périodes de grand froid. Tous les systèmes de production de chaleur sont possibles, à condition qu'ils soient d'un investissement faible. C'est le cas d'une chaufferie au fuel ou au gaz, alors que le charbon nécessite des investissements plus importants. L'électricité est chère si on considère les frais d'investissement de production primaire et de distribution, mais les coûts d'installation d'émetteurs électriques sont peu onéreux.

### Le stockage

Il est naturel d'imaginer un stockage de chaleur, permettant de répartir sur toute l'année la consommation des utilisateurs qui a la forme d'un pic saisonnier.

La solution d'un stockage de chaleur annuel, en surface ou à faible profondeur, permettrait de répartir les consommations sur 8760 heures/an, donc d'autoriser un raccordement de logements de 3 à 4 fois supérieur, ou de limiter d'autant l'incidence des investissements.

Le stockage annuel représente un volume important et aucune solution technique n'a été étudiée réellement ; néanmoins, cette solution serait vraisemblablement très rentable.

Une autre solution plus simple et aussi efficace, est sans doute le stockage individuel à l'échelle d'une journée ou d'une semaine. Cette solution permet de soustraire les variations de température d'une courte période, ce qui n'est pas négligeable puisque l'écart journalier est de 6 à 12 °C au cours d'une même journée.

Cette solution peut s'exprimer par un stockage artificiel mais aussi tout simplement par l'inertie du bâtiment, ce qui implique une certaine mise en œuvre architecturale.

### La production d'eau chaude sanitaire

Le réchauffage d'eau chaude sanitaire est une excellente application de la géothermie : la consommation est régulière toute l'année, l'eau distribuée à 55 ou 60 °C est compatible avec la température d'extraction d'eau géothermale, et la température d'eau de ville de 10 à 15 °C permet d'obtenir une température de réinjection faible.

Dans le cas d'une production centralisée, les pointes de consommation journalière doivent être aplanies et

il y a donc lieu, soit de réaliser un système d'accumulation, soit de concevoir un système semi-instantané : il reste alors à résoudre le problème de la distribution d'eau chaude sanitaire à distance.

Dans le cas d'une production d'eau chaude sanitaire en sous-station de bâtiment, l'échange de chaleur peut se réaliser avec des appareils instantanés, en jouant sur l'inertie du système de chauffage ; cette solution nécessite néanmoins la distribution d'eau primaire à température constante de 60 à 65 °C en demi-saison et en été, cette température devant être directement compatible avec celle de l'eau géothermale.

## Conception d'émission

A partir des données de bases fondamentales, les installations doivent être adaptées à la géothermie.

### Secteur tertiaire

Qu'il s'agisse de commerces, de bureaux, d'hôtels, d'hôpitaux, ces locaux ont une forte occupation et une ventilation importante, mais avec une utilisation intermittente de la chaleur.

Les batteries de réchauffage de l'air de ventilation permettent de façon simple un abaissement de la température de retour à 10 ou 15 °C par — 7 °C. Le seul problème est celui du faible temps de fonctionnement annuel, temps d'utilisation encore diminué s'il y a besoin de climatisation.

C'est le domaine de la géothermie directe, utilisée avec un stockage éventuel, ou une pompe immergée. Il n'y a pas lieu d'associer des pompes à chaleur ; seulement dans le cas de locaux climatisés, la récupération de chaleur classique par le groupe frigorifique existant peut être intéressante comme appoint.

### Logements

Les besoins d'un logement sont essentiellement le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Il existe bien entendu différents systèmes d'émission de chaleur, chacun d'entre eux devant être approprié à la géothermie, tout en garantissant le degré de confort souhaité :

- le respect de la température,
- le gradient de température aux différents points de la pièce,
- le degré de variation de la température, déterminant la nécessité de systèmes de régulation individuelle, ou la nécessité d'une excellente protection solaire, ou la recherche d'une inertie du bâtiment pour stabiliser les variations de température,
- le besoin d'humidification ou de déshumidification : la ventilation est un excellent support pour le traitement hygrothermique,
- le taux de renouvellement d'air, élément important du confort et de l'hygiène,
- la qualité de l'air, en particulier le degré de filtration et sa composition ionique,
- les mouvements d'air : une ambiance sans mouvement d'air, favorisant la stratification, est désagréable ; également, des mouvements d'air trop importants créent une gêne,
- le bruit : niveau sonore ambiant consécutif aux installations intérieures, mais aussi isolement phonique par rapport aux bruits extérieurs.

L'idéal serait la recherche d'un « habitat géothermique » garantissant les paramètres de confort souhaités et intégrant des systèmes utilisant parfaitement de l'eau à basse température avec des retours les plus faibles possibles.

La définition d'une architecture, dans l'importance de son isolation thermique, dans l'efficacité d'une protection solaire, dans le degré de l'inertie, est une des bases de la conception d'un système de chauffage ; à l'inverse, l'optimisation de systèmes de chauffage appropriés à la géothermie doit conduire à la définition d'un type d'habitation.

### Par exemple

- un système de plancher chauffant, seul, à basse température, et par définition inerte, ne peut pas être intégré dans un logement très isolé thermiquement, et mal protégé de l'ensoleillement,

- les radiateurs qui doivent être alimentés à des températures supérieures à 75 °C pour conserver une bonne efficacité, ne peuvent être prévus que pour les opérations où la température de l'eau géothermale est élevée, et dans le cas d'installations de production centralisée complétées par des pompes à chaleur,
- la ventilation est un excellent support de chauffage et est également un très bon moyen de récupérer l'énergie géothermique, dans la mesure où l'isolation thermique est très améliorée ; d'ailleurs, la ventilation devient nécessaire pour des bâtiments très isolés puisque les échanges thermiques avec l'extérieur deviennent limités, ce qui accentue les élévations de température dues aux apports internes ; également, la ventilation est nécessaire en site urbain dans le cas où il est souhaité une protection aux bruits extérieurs,
- différentes combinaisons sont possibles et même souhaitables, de façon à réaliser un chauffage de base et un chauffage d'appoint comportant un système de régulation individuelle. Le choix de ces solutions doit résulter d'une optimisation des installations de chauffage, tout en tenant compte du coût du bâtiment.

#### Divers

D'autres applications sont bien sûr possibles, que ce soit pour les locaux industriels et les installations de séchage, dont les besoins de ventilation sont importants, que ce soit pour le chauffage des serres ou des piscines dont les besoins sont uniformes et réguliers toute l'année, ou que ce soit pour différentes utilisations agricoles ou horticoles, voire même médicales.

#### Complexe

Le niveau d'application d'un forage d'eau géothermale se situe aux alentours de 2 000 logements ou équivalents. Evidemment, il serait intéressant de pouvoir programmer plusieurs types d'utilisation complémentaires, au niveau d'un complexe : soit logements, piscine, bureaux, hôpital, soit zones industrielle et commerciale, soit complexe agricole et horticole, ces utilisations permettant une meilleure rentabilisation dans la mesure où elles sont complémentaires.

#### Utopie ?

A un niveau différent, pourquoi la

géothermie ne pourrait-elle pas être le complément idéal de l'énergie nucléaire, ce qui paraît a priori contradictoire. En effet, le nucléaire exige une fourniture régulière toute l'année au niveau des réacteurs et ne peut donc assurer que la production de base ; la géothermie aussi.

Les réservoirs géothermiques pourraient constituer un stockage important d'eau réchauffée par énergie nucléaire pendant les périodes de faible demande en été. La production de base des centrales nucléaires pourrait alors être augmentée et leur rentabilité améliorée ; de plus, la nappe conserverait son équilibre dans le temps, et serait donc inépuisable. Cette recherche est d'un domaine purement géologique. Le nucléaire pourrait également fournir l'appoint indispensable à la géothermie, soit sous forme d'électricité par unité terminale, soit sous forme d'hydrogène stockable : c'est peut-être une hypothèse pour l'an 2 000.

## L'exemple de Creil

### Les bases de l'application

L'opération de Creil est l'exemple d'une conception de production, les systèmes d'émission ayant été défini auparavant.

La centrale de production de chaleur doit desservir environ 4 000 logements au total :

- un ensemble de 2 000 logements existants, pour la Cavée de Senlis et la Cavée de Paris : logements habités et chauffés depuis 10 ans, avec isolation traditionnelle médiocre, système de chauffage par serpentins de dalles pleines alimentés à 55/45 °C par — 11 °C extérieur, sans production d'eau chaude sanitaire,
- un ensemble de 2 000 logements nouveaux, sur la Zac du Moulin : construction en cours avec échelonnement jusqu'en 1978, avec isolation améliorée, émission par radiateurs à 75/55 °C par — 7 °C extérieur, et avec une production d'eau chaude sanitaire.

En conséquence, la base fondamentale de la géothermie constituée par les températures des retours des

installations secondaires, n'apparaissait pas défavorable puisque, par — 7 °C extérieur, les retours ne devaient pas dépasser 48 °C. Néanmoins, cette température reste élevée et explique la conception particulière des installations de production, notamment l'emploi de pompes à chaleur.

### Les ressources géothermales

Les premières études géologiques ont montré la possibilité d'obtenir un débit de 100 m<sup>3</sup>/h par forage : en réalité, le débit global en pompage immergé doit avoisiner 270 m<sup>3</sup>/h pour les deux puits.

Les eaux sont très agressives : présence de chlorure de sodium à un taux de 25 g/l, c'est-à-dire légèrement inférieur à celui de l'eau de mer, et présence d'hydrogène sulfuré dissout. Ces deux éléments posent évidemment des problèmes sérieux de corrosion pour les matériaux employés dans le transport et l'échange de l'eau géothermale.

### Les différentes solutions possibles

La comparaison a d'abord porté sur les deux solutions principales suivantes :

- échangeur seul : la puissance assurée est de 10 % des besoins et les économies de consommation sont de 41 % seulement ;
- les échangeurs complétés par les pompes à chaleur : l'association des pompes à chaleur aux échangeurs permet d'abaisser les températures de réinjection de l'eau de forage, l'eau réinjectée étant voisine de 30 °C par — 7 °C et 10 °C par + 5 °C extérieur. Cet ensemble assurant une puissance d'environ 23 % par — 7 °C, et 78 % par + 6 °C, conduit à une économie de consommation de 74 % de combustible traditionnel.

L'eau géothermale ne passe pas directement par l'évaporateur, compte tenu des problèmes technologiques liés à l'agressivité des eaux géothermales. C'est le fluide primaire de l'un des circuits qui, refroidi dans l'évaporateur, permet d'épuiser plus complètement la chaleur contenue dans les eaux géothermales, à l'intérieur de l'échangeur,

Plusieurs schémas de fonctionnement ont donc été sélectionnés en fonction de la température extérieure, de façon à utiliser en priorité l'énergie la moins chère soit dans l'ordre d'une façon cumulative :

- trois échangeurs récupérant la valeur de 5 000 Th/h,
- trois pompes à chaleur en série, mais en cascade, de 2 000 000 fg/h unitaire,
- un ensemble de chaudières traditionnelles, à charbon et à fuel, d'une puissance totale de 27 000 Th/h.

### Forage et transport de l'eau géothermale

Les forages sont constitués de deux doublets, soit quatre puits, du type vertical, éloignés chacun de 1 000 à 1 500 m.

Les réseaux aller sont à base de fibre de verre et de résines biphénoliques ou Epoxy, précalorifugés en usine avec revêtement extérieur en PVC, l'ensemble étant enterré : perte de température faible, inférieure à 0,5 °C pour 1 500 m de longueur, résistance linéique modérée de 6 à 8 mm/ml, et très bonne résistance à la température de 65 °C.

Les réseaux de retour sont constitués en matériau fibro-ciment, enterrés, plus économiques que pour les réseaux de production, compte tenu de la température inférieure à 35 °C.

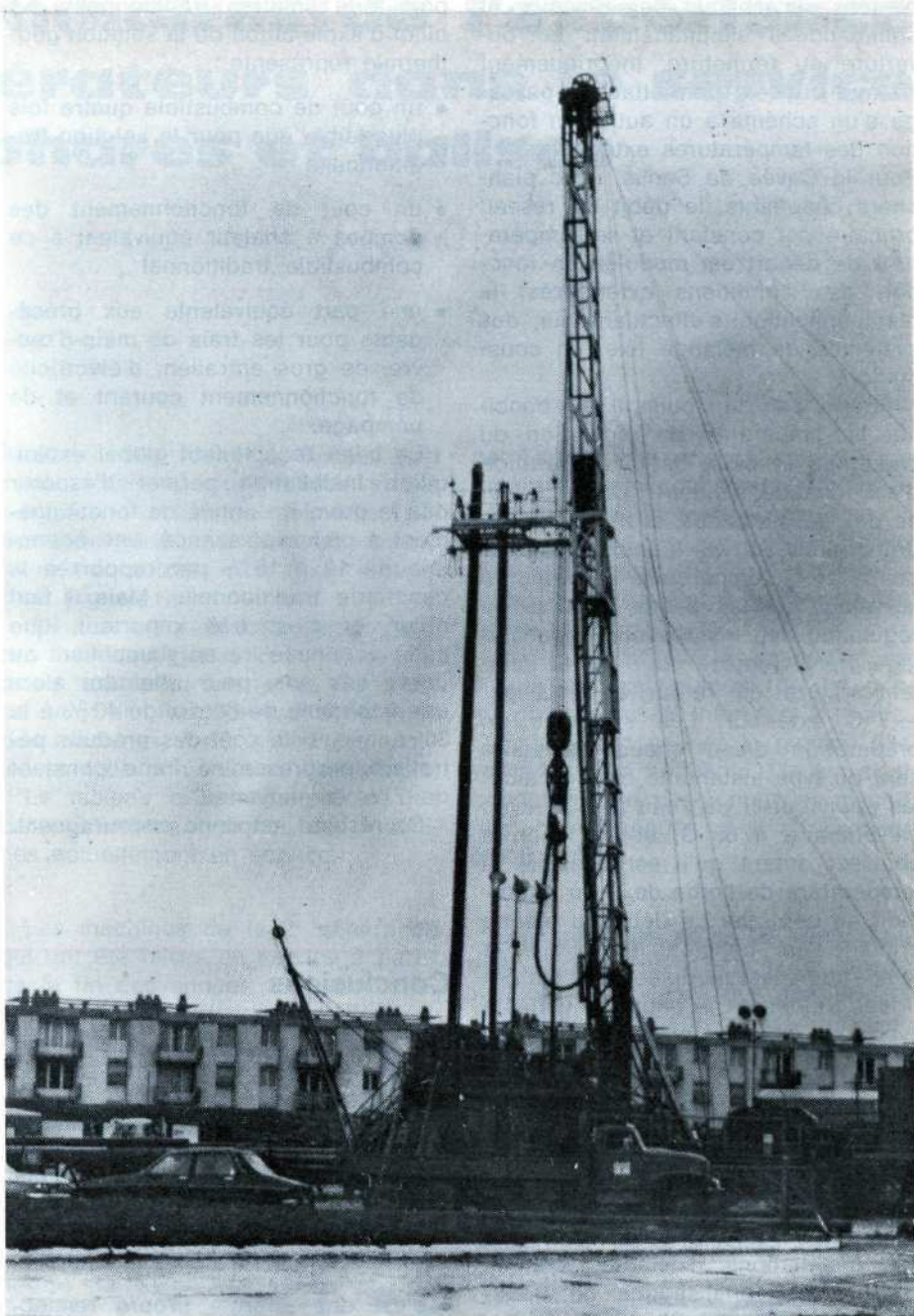
### Installations de production

La chaufferie existante a été conservée totalement, voire complétée. Les échangeurs sont des appareils à plaques, construits en titane, installés en parallèle avec système de collecteur et de by-pass pour moduler l'utilisation du matériel, manuellement.

Les pompes à chaleur, installées en complément, comportent des compresseurs à vis, et fonctionnent au fréon R 12.

Les trois machines sont montées en série, à courant inversé, et permettent d'obtenir des coefficients de performance réelle de 5,65 pour + 11 °C extérieur et de 5,05 pour + 6 °C extérieur.

La puissance électrique nécessaire pour l'alimentation de ces pompes à chaleur est très importante puisqu'elle représente 2 600 kVA à elles seules.



Creil : derrick de forage.

La sélection du nombre de pompes à chaleur en fonctionnement, leur mise en marche en cascade, ou leur arrêt, sont obtenus par des systèmes internes.

La régulation de puissance s'effectue par la régulation de la température de sortie du dernier évaporateur alors que celle des échangeurs s'effectue par variation du débit d'eau secondaire au-dessous du débit nominal.

Les pompes à chaleur doivent subir systématiquement deux mises en

route et deux arrêts quotidiens, pour passer les heures de pointe et suivre la tarification de l'électricité.

La commande de l'ensemble des trois machines est assurée de façon automatique à partir d'une armoire générale de régulation centralisée, installée dans le local synoptique.

### Régulation

La régulation centrale est en fait limitée au choix des circuits en provenance de chacune des énergies, par des vannes du type pneumatique

placées sur chacun des réseaux, et commandées simultanément en ouverture ou fermeture, théoriquement en tout ou rien, permettant le passage d'un schéma à un autre, en fonction des températures extérieures.

Pour la Cavée de Senlis, avec planchers chauffants, le débit du réseau primaire est constant et sa température de départ est modulée en fonction des conditions extérieures, la démultiplication s'effectuant sur des systèmes de mélange fixe, en sous-station.

Pour la Zac du Moulin, il faut concilier les impératifs de régulation du chauffage et ceux de la préparation d'eau chaude sanitaire. Dans chacune des sous-stations, la régulation du primaire est du type à deux voies pour contrôler la température de retour à la valeur la plus basse possible, la régulation des installations de chauffage étant calculée pour limiter cette température de retour à 55° C par -7° C extérieur. Les systèmes de préparation d'eau chaude sanitaire sont du type instantané et son calculés pour fournir de l'eau à 55° C avec un primaire à 60° C, et de façon à abaisser autant qu'il est possible la température de sortie de l'eau retournant en centrale. Le débit du réseau primaire est constant alors que la température est modulée pour les périodes froides, et le débit est variable avec une température constante de 60° C pour les périodes de demi-saison et d'été.

### Le bilan économique

Le coût des investissements, comprenant les forages, la valeur des installations existantes comme neuves, les canalisations de transport d'eau géothermale et les installations de récupération représentent un total d'environ 25 000 000 de F TTC, soit environ 700 F TTC/th/h installée.

Dans le cas présent, la plus-value par rapport à une solution classique représente 4 000 à 4 500 F TTC/logement, valeur au moins comparable au coût des modifications aux logements existants qui auraient été nécessaires pour améliorer l'exploitation, par exemple, par l'isolation complémentaire des bâtiments et la mise en place des systèmes de régulation individuelle.

En revanche, le coût d'exploitation annuel est diminué de 42 % par rap-

port à la solution traditionnelle. Le bilan d'exploitation de la solution géothermie représente :

- un coût de combustible quatre fois plus faible que pour la solution traditionnelle
- un coût de fonctionnement des pompes à chaleur équivalent à ce combustible traditionnel
- une part équivalente aux précédents pour les frais de main-d'œuvre, de gros entretien, d'électricité de fonctionnement courant et de pompage.

Le bilan récapitulatif global exploitation - installation permet d'espérer dès la première année de fonctionnement à pleine puissance, une économie de 12 à 15 % par rapport à la chaufferie traditionnelle. Mais il faut noter, et c'est très important, que cette économie ira en s'amplifiant au cours des ans, pour atteindre alors une économie de l'ordre de 40 % à la 30<sup>e</sup> année, si le coût des produits pétroliers progresse en franc constant de 7 % en moyenne.

Ce résultat est donc encourageant.

---

## Conclusions

---

La crise de l'énergie nous a forcés à réfléchir, et nous a permis de vérifier que la récupération de la chaleur des eaux souterraines est possible et même rentable. La géothermie peut donc contribuer à l'effort national :

- c'est une énergie propre respectant l'environnement
- son emploi apporte une précieuse économie de devises
- les ressources sont relativement bien réparties sur tout le territoire et permettent ainsi une programmation énergétique par les autorités régionales.

L'opération de Creil a sans doute été le premier maillon de la chaîne des opérations nouvellement lancées : le programme national est ambitieux puisqu'il veut représenter, en 1985, près de 500 000 logements chauffés à partir de la géothermie.

L'opération de Creil peut être un exemple, sans toutefois pouvoir être généralisé de façon systématique. Chaque cas est en effet particulier, la conception des installations de production et leur optimisation pouvant être très différentes d'une opération à l'autre, une sélection arbitraire des matériels étant une catastrophe à l'exploitation : une opération de géothermie est essentiellement la recherche d'une optimisation du bilan d'exploitation.

L'opération de Creil est un exemple démontrant que l'emploi de pompes à chaleur peut s'avérer intéressant, notamment pour les logements existants, lorsque les installations intérieures sont déjà définies et comportent des émissions à moyenne température, alors que la température de l'eau géothermale n'est pas très élevée.

En revanche, il est primordial de définir un habitat géothermique pour les logements neufs : le choix d'émetteurs à bas potentiel, avec des températures de retour très basses, et l'intégration des systèmes, voire la recherche d'une architecture adaptée, devraient limiter les investissements mais surtout devraient aboutir à un meilleur bilan d'exploitation.

La conception des installations intérieures est prépondérante puisqu'elle a une incidence directe sur la conception des installations de production, donc sur la rentabilité d'une opération géothermique.

Cette géothermie « froide », qui fait actuellement partie du programme des énergies nouvelles, a un bel avenir devant elle.

La réussite de ce programme sera consécutive à la force d'incitation des Pouvoirs Publics, alors que la réussite financière de l'opération, pour le Maître de l'Ouvrage, sera le résultat d'optimisations successives dans le choix des solutions, tant au niveau de l'émission qu'à celui de la production de chaleur. La conception est, à cet égard, primordiale.

# résultats sommaires de l'expérience des aérogénérateurs dans le service des phares et balises

par M. MARTIN et J. PRUNIERAS

*Service des Phares et Balises.*

## Introduction

Les premières expériences du Service des Phares et Balises dans le domaine de l'utilisation de l'énergie éolienne en vue de produire l'énergie électrique nécessaire à des établissements de signalisation maritime isolés tels que les phares en mer, remontent à 1957.

Depuis cette date, les essais et les mises au point technologiques se sont poursuivis d'une façon continue.

L'objet du présent rapport est de présenter un bref compte rendu de ces essais et mises au point.

On décrit d'abord les aérogénérateurs puis on donne quelques indications sur l'organisation des stations d'aérogénérateurs actuellement en service. Enfin sont présentés les résultats de l'exploitation de ces stations.

## Description des aérogénérateurs

Les aérogénérateurs utilisés dans

le Service des Phares et Balises sont tous constitués d'une hélice à axe horizontal. Le bâti qui supporte l'hélice et le générateur électrique pivote lui-même autour d'un axe vertical (voir Fig. n° 1).

On n'utilise plus actuellement que des hélices bipales. Les hélices tri-pales sont plus favorables du point de vue de l'équilibrage dynamique des machines, mais les hélices bipales sont de construction plus simple.

Le tableau ci-dessous précise les caractéristiques typiques des machines actuellement en service.

Les machines de la 2<sup>e</sup> génération qui ont été mises en service à partir de la fin des années 1960 se distinguent des machines de la 1<sup>re</sup> génération par :

— le mode de régulation aérodynamique et la nature du générateur associé à l'hélice.

**Les machines de la 1<sup>re</sup> génération** (au total 9 machines désignées par l'expression machine du type « Sept-Illes » du nom du phare où fut installée la première station), sont constituées d'hélices à calage fixe associées à une dynamo.

Grâce à un choix judicieux du calage de l'hélice, l'énergie prélevée

par l'hélice à la veine d'air reste approximativement constante lorsque le vent dépasse un seuil assigné.

Le principe de ces machines est particulièrement séduisant. La machine dont la cinématique est simple est robuste.

Malheureusement les machines ne produisent pratiquement pas d'énergie pour des vents inférieurs à 10 m/s. On n'utilise donc pas la gamme des vents les plus fréquents. On est ainsi conduit à surdimensionner les machines, ce qui coûte cher en premier établissement.

**Les machines de la 2<sup>e</sup> génération** sont constituées d'hélices à calage variable associées à des alternateurs à aimant permanent.

On dispose de deux types de machines :

— les premières, les plus couramment utilisées dans les sites français, démarrent pour des vents  $> 3$  m/s, et fournissent leur puissance nominale pour des vitesses de vent  $> 7$  m/s ;

— les secondes, utilisées dans des sites particulièrement peu ventés, démarrent pour des vents  $> 2$  m/s, et fournissent leur puissance nominale pour des vents  $> 5$  m/s.

Machines de la 1 <sup>re</sup> génération			Machines de la 2 <sup>e</sup> génération		
Puissance nominale	Diamètre de l'hélice	Masse	Puissance nominale	Diamètre de l'hélice	Masse
4 800 W	4,7 m	900 kg	24 W	1 m	20 kg
			150 W	2 m	70 kg
			300 W	3,2 m	165 kg
			1 100 W	5 m	350 kg
			4 100 W	9,2 m	500 kg

Les hélices ne sont pas vrillées. Le calage varie par l'effet des forces centrifuges. Lorsque le vent atteint la vitesse de régulation, le calage garde une valeur constante et l'énergie excédentaire est dissipée par décrochage aérodynamique de l'écoulement autour des pales.

La cinématique des machines de la 2<sup>e</sup> génération est plus compliquée que celle des machines de la 1<sup>re</sup> génération.

On a néanmoins pu surmonter les difficultés résultant de cette complication.

Les photographies ci-jointes (Fig. 1 et 2) montrent un exemplaire de machine de la 1<sup>re</sup> génération et un exemplaire de machine de la seconde génération.

## Organisation des stations d'aérogénérateurs

On appelle station d'aérogénérateur l'ensemble de matériels permettant de fournir l'énergie électrique à l'installation qui doit être alimentée.

Une station est donc constituée des sources d'énergie qui sont l'aérogénérateur et une source d'énergie de secours, d'une batterie d'accumulateurs destinée au stockage de l'énergie produite par l'aérogénérateur et de différents organes de contrôle et de commande.

### a) Stations non automatiques

Les premières stations installées, notamment celles qui sont formées autour d'un aérogénérateur de la première génération, l'ont été dans des phares qui sont restés gardés.

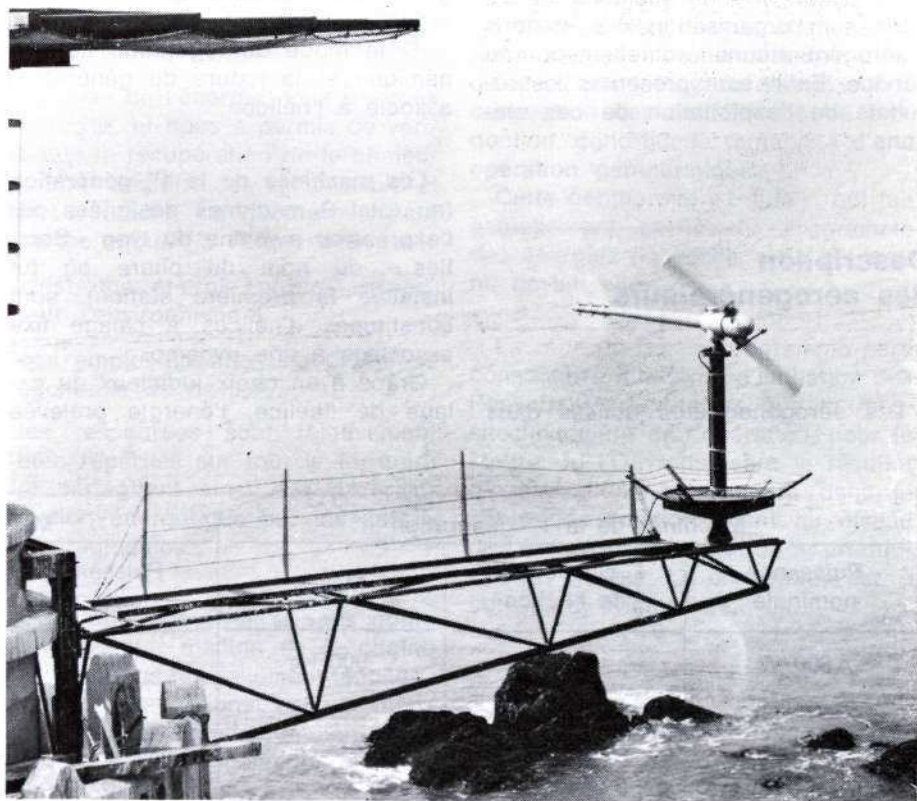
A l'époque on n'était pas encore en mesure de réaliser des installations complètement automatiques et d'autre part les puissances des appareillages émetteurs de signaux (optiques ou radioélectriques) étaient telles que l'on ne pouvait pas espérer disposer d'une source d'énergie de secours de capacité suffisante pour subvenir aux besoins pendant les périodes prolongées de calme de vent.

La Fig. 3 montre un schéma de l'or-



Fig. n° 1.

Fig. n° 2 : Aérogénérateur du Phare des Barges.



ganisation de ce type de station. L'énergie produite par l'aérogénérateur est stockée dans une batterie d'accumulateurs au plomb. La source d'énergie de secours est constituée par un groupe électrogène. Le gardien met le groupe en marche au cours de la journée si l'état de charge de la batterie n'est pas suffisant. Le gardien peut limiter la charge de la batterie lorsque celle-ci est complètement chargée soit en faisant débiter l'aérogénérateur dans une résistance soit en freinant l'aérogénérateur en le mettant en court-circuit.

### b) Stations automatiques

Les progrès de la technologie ont permis de réduire les puissances consommées par les générateurs de signaux, d'améliorer la fiabilité des dispositifs de consommation et d'augmenter la productivité des aérogénérateurs. Il est donc devenu possible vers les années 1970 de réaliser des stations complètement automatiques dans lesquelles une source d'énergie de secours subvenait aux besoins de l'installation pendant les périodes prolongées de calme de vent.



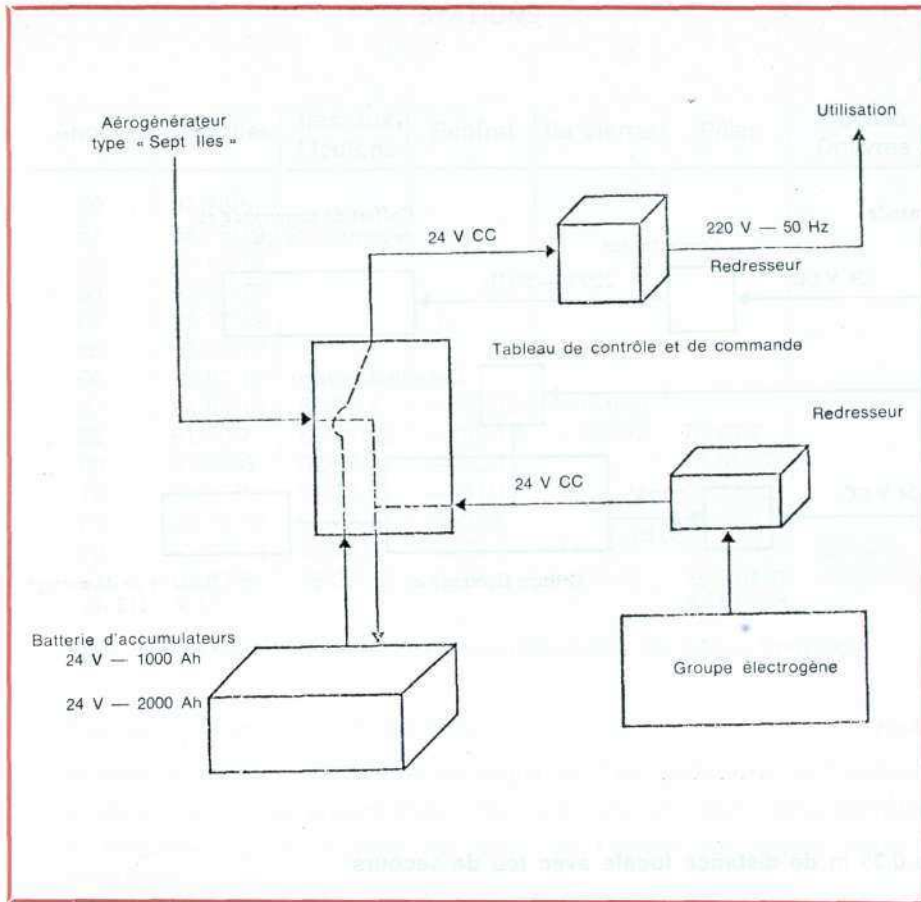


Fig. 3. — Station gardée alimentant un feu de 0,35 m de distance focale avec feu de secours

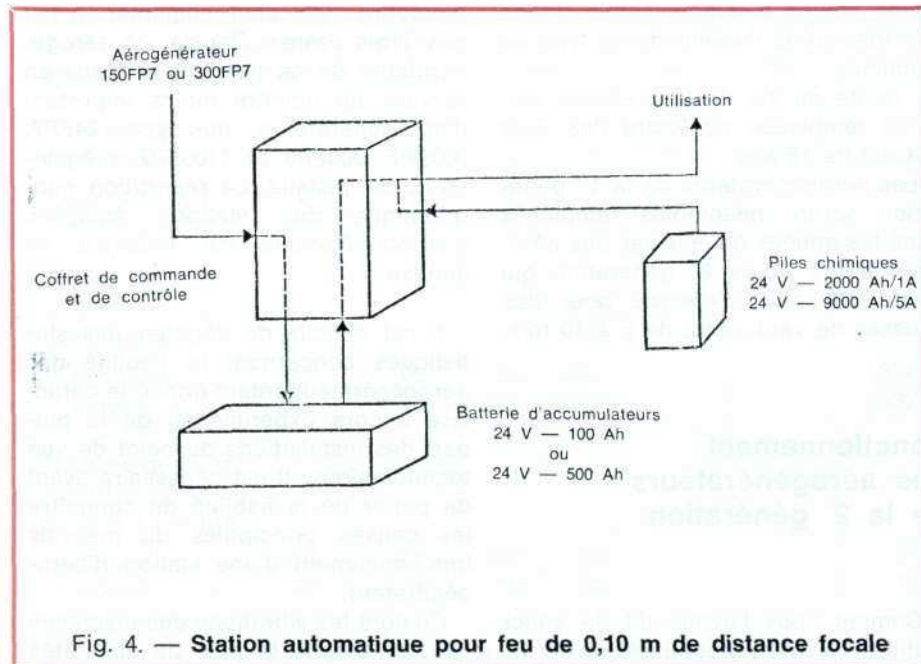


Fig. 4. — Station automatique pour feu de 0,10 m de distance focale

Dans de telles stations, la source de secours est automatiquement mise en service et débite sur les appareils d'utilisation dès que la tension de la batterie servant au stockage de l'énergie produite par l'aérogénérateur descend en dessous d'une valeur déterminée.

Suivant l'importance de la station, la source d'énergie de secours est constituée soit d'un groupe électrogène à démarrage automatique soit d'une batterie de piles chimiques. Les piles utilisées sont à dépolariation par air et utilisent la potasse comme électrolyte.

Tous les organes de commande et de contrôle sont regroupés dans un coffret.

La Fig. 4 donne le schéma d'une station automatique de faible puissance, la Fig. 5 celui d'une station automatique de puissance importante.

### Bilan du fonctionnement des aérogénérateurs de la 1<sup>re</sup> génération

Le premier aérogénérateur fut installé en avril 1957 au phare des Sept Iles à titre d'essai ; on a essayé différents types et différentes dimensions d'hélices pour adopter finalement une hélice bipale en alliage d'aluminium. Les résultats des essais et des observations effectués pendant huit années furent jugés encourageants et l'on décida de mettre en service un aérogénérateur au phare de l'île aux Moutons en avril 1965 et un autre au phare de Penfret en juillet 1965. Par la suite, les phares de l'île Vierge en août 1967, du Pilier en mai 1968 et des Roches Douvres en juillet 1971 furent équipés de stations comprenant chacune deux aérogénérateurs du type « Sept Iles ».

Les aérogénérateurs sont supportés par des éléments en acier montés sur des fûts en béton. L'axe de l'aérogénérateur est en général situé à 15 m au-dessus du sol.

Tous ces phares étant demeurés gardés, on a pu mesurer la production d'énergie des aérogénérateurs et des groupes électrogènes, la consommation du phare et le temps de marche des aérogénérateurs.

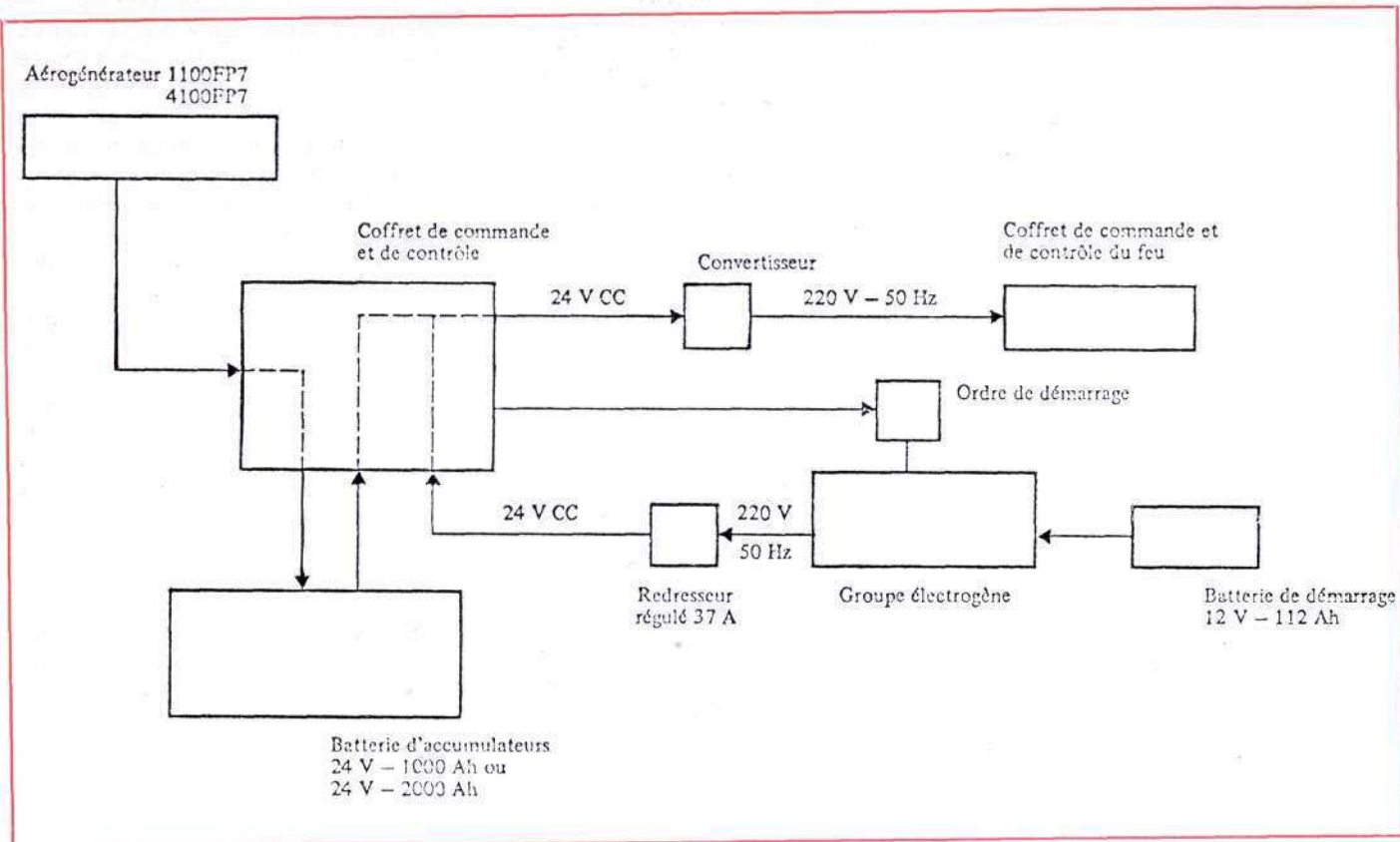


Fig. 5. — Station automatique pour feu de 0,35 m de distance focale avec feu de secours

Les résultats indiqués Fig. 6 montrent que, à l'exception des phares des Sept Iles et des Roches Douvres, le pourcentage du temps de fonctionnement d'un aérogénérateur est de l'ordre de 50 à 75 %; ceci met en évidence le fait que ce type d'aérogénérateur ne démarre que pour des vitesses de vent relativement élevées. Il faut remarquer en outre que les quantités d'énergie fournies à l'établissement sont inférieures à celles dont on pourrait effectivement disposer : cela résulte du fait que le gardien met en marche le groupe lorsqu'il craint que la quantité d'énergie que va produire l'aérogénérateur ne sera pas suffisante. Le gardien prend systématiquement une marge de sécurité qui n'est pas strictement nécessaire.

Les machines de la première génération se sont révélées robustes et l'on n'a pas à faire face à des incidents mécaniques. La principale cause d'arrêt de fonctionnement de l'installation est la foudre. Elle peut mettre le collecteur en court-circuit (Pilier : février 1971; Roches Douvres et Sept Iles en mai 1973), détériorer les diodes anti-retour et de démarra-

ge (Sept Iles en juillet 1971, Ile Vierge en décembre 1971, Pilier en janvier et février 1972) et détériorer les filtres anti-parasites (Pilier février 1972). La Fig. 7 indiquant le relevé des incidents survenus aux aérogénérateurs, les durées moyennes entre incidents et le temps moyen d'immobilisation donne une idée de la fiabilité de ce type de machines.

La durée de vie de la première machine remplacée au Phare des Sept Iles est de 15 ans.

Les aérogénérateurs de la 1<sup>re</sup> génération seront néanmoins remplacés dans les années à venir par des aérogénérateurs de la 2<sup>e</sup> génération qui produisent plus d'énergie pour des vitesses de vent allant de 5 à 10 m/s.

### Fonctionnement des aérogénérateurs de la 2<sup>e</sup> génération

Comme nous l'avons dit, le souci d'utiliser la plus grande plage de vi-

tesse du vent rencontrées et d'alimenter des installations moins importantes a amené le Service des Phares et Balises à revenir aux aérogénérateurs à calage variable.

Le premier aérogénérateur du type 150FP7 a été mis en service au mois d'octobre 1968 pour alimenter le feu des Trois Frères. Depuis, 24 aérogénérateurs de ce type ont été mis en service, un nombre moins important d'aérogénérateurs du type 24FP7, 300FP7, 900FP9 et 1100FP7 a également été installé. La répartition géographique des stations équipées d'aérogénérateurs est indiquée en annexe.

Il est difficile de dégager des statistiques concernant la fiabilité des aérogénérateurs étant donné le caractère encore expérimental de la plupart des installations du point de vue technologique. Il est nécessaire avant de parler de la fiabilité de connaître les causes principales du mauvais fonctionnement d'une station d'aérogénérateur.

Ce sont les vibrations des machines qui ont suscité le plus de difficultés.

STATIONS

Année	Sept Iles	Iles aux Moutons	Penfret	Ile Vierge	Pilier	Roches Douvres
60	97/78/5					
61	88/79/12					
62	87/85/12					
63	93/80/12					
64	93/77/12					
65	89/83/12					
66	95/87/12					
67	94/84/12	68/72/4	—/57/10	—/71/72		
68	81/70/7	65/81/12	—/55/12	—/63/12	70/69/7	
69	91/86/6	62/67/12	—/52/11		76/55/12	
70	93/87/12	61/70/6	—/51/11		75/72/12	
71	78/71/12	50/47/7	54/24/9		67/57/12	
72	93/79/12	54/58/9	36/23/9	71/50/7	73/66/12	86/59/5
73	83/73/6	46/39/12	48/24/9	—/40/6	72/69/12	94/61/12

Fig. 6. — Fonctionnement des aérogénérateurs du type « Sept Iles »

Chaque case comporte 3 nombres :

- le premier est le pourcentage du temps où l'aérogénérateur a fonctionné
- le deuxième est le pourcentage d'énergie produite par l'aérogénérateur
- le troisième est le nombre de mois de l'année sur lequel porte la statistique

Stations	Roches Douvres	Sept Iles	Ile Vierge	Ile aux Moutons	Penfret	Pilier
Nombre d'aérogénérateurs ...	2	1	2	1	1	2
Date de mise en service ....	Juillet 1971	Avril 1957	Août 1967	Avril 1965	Juillet 1965	Mai 1968
Nombre d'immobilisations	3	7	4	1	0	1
par panne ..	2	6	2	1		0
par accident .	1	1	2	0		1
Nombre de jours entre 2 interventions						
minimum ...	30	90	70	1280		1332
moyen .....	200	718	441	1280		1332
Nombre de jours d'immobilisations						
maximum ...	150	108	163	93		17
moyen .....	80	30	56	93		17

Fig. 7. — Aérogénérateurs de la 1<sup>re</sup> génération — Fiabilité

lors de la phase de mise au point des stations d'aérogénérateurs de la 2<sup>e</sup> génération.

Ces difficultés ont été aggravées par le fait que dans la plupart des stations que l'on a réalisées, on n'avait pas la possibilité de réaliser un support rigide en béton de même type que ceux auxquels il a été fait allusion au paragraphe précédent.

On a tenté d'installer des aérogénérateurs sur des superstructures métalliques tridimensionnelles. La Fig 2 donne l'idée d'une structure qui a été employée afin de placer l'aérogénérateur sur un phare.

On a donc dû faire porter les efforts dans deux directions :

- Rechercher les raisons pour lesquelles la machine excite dynamiquement les structures qui la supportent et éliminer dans la mesure du possible les causes de vibrations.
- Améliorer la conception et la réalisation des structures supports.

Les causes des vibrations des machines peuvent être d'origine purement mécanique (défaut d'équilibrage statique et/ou dynamique) ou résulter de couplage entre l'écoulement aérodynamique et la machine.

Les défauts d'équilibrage statique et dynamique ont été presque totalement éliminés.

Le remplacement des pales en bois par des pales en aluminium élimine les défauts d'équilibrage dus à la variabilité de la masse et aussi de la forme des pales construites en bois.

On a d'autre part amélioré la symétrie des dispositifs de calage des pales et enfin on a pris le parti de faire systématiquement passer au banc d'équilibrage dynamique l'ensemble de la partie tournante.

Les couplages entre la machine elle-même et l'écoulement aérodynamique ont pu être réduits en particulier en plaçant en dehors du sillage de l'hélice le gouvernail assurant le maintien de l'aérogénérateur dans le lit du vent.

Les efforts faits dans le domaine de la conception et de la réalisation des structures supports ont essentiellement porté sur l'amélioration des moyens de calcul des structures et



# Le béton donne le ton.

## Les revêtements de sols extérieurs en béton : la beauté dans le temps.

Aujourd'hui, les revêtements de sols extérieurs en béton donnent le ton.

La raison ? Pour la première fois, imagination et économie ont trouvé un "terrain d'entente".

Esthétique : Choix étendu des couleurs, des formes, des modules, des aspects de surface permettant une totale liberté d'expression et une parfaite harmonisation avec l'environnement.

Economie : Pavés, dalles décoratives, dalles gazon : des petits modules aisément maniables :  
- une qualité régulièrement contrôlée en usine,  
- une pose aisée, rapide, par tous temps et sur tous terrains,  
- une démontabilité et un réemploi sans problèmes.

Les revêtements de sols extérieurs en béton - parce qu'ils allient de larges possibilités décoratives aux propriétés physiques bien connues du béton - gardent à l'usage toutes leurs qualités. C'est la beauté dans le temps.

## Dalles décoratives, pavés, dalles gazon : trois produits, une multiplicité d'utilisations.

Dalles décoratives et pavés. Dans tous les cas, ils laissent libre cours à votre créativité, tout en vous permettant de faire preuve de réalisme.

Leurs applications ? Multiples. À vous de les choisir :

- circulation des piétons : places et rues piétonnes, espaces verts, allées de jardins et plages de piscine, cours d'écoles et centres commerciaux, trottoirs...

- passage des véhicules : entrées de garage, parkings, voirie urbaine...

- et aussi toitures-terrasses, stations-service, quais, sols industriels.

Dalles gazon. Tout le monde rêve de verdure. Alors, pourquoi ne pas intégrer le fonctionnel à la nature ?

Les dalles gazon permettent de créer entrées de garage, "voies pompier", allées carrossables, parkings verts, et de stabiliser sols, talus, berges... ouvrages aussi originaux que fonctionnels qui s'intègrent parfaitement à l'environnement. Et qui respectent la nature.



Syndicat national des fabricants de produits en béton pour voirie de surface et signalisation.  
Affilié à la fédération de l'industrie du béton.

## Légendes photos.

- 1) Parking "vert" en dalles gazon.
- 2) Sol d'esplanade aux lignes souples traitées en dalles décoratives colorées.
- 3) Trottoir en pavés harmonieusement colorés.
- 4) Rue piétonne en dalles décoratives "pierre clivée".
- 5) Allée de jardin public réalisée en dalles décoratives "gravillons lavés".

Pour mes prochaines réalisations, je désirerais connaître l'adresse du spécialiste Sol-Béton-Novation le plus proche de chez moi.

Nom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Tél. \_\_\_\_\_

Profession ou Société \_\_\_\_\_

Sol-Béton-Novation 3, rue Alfred-Roll,  
75849 Paris. Cedex 17.

Stations	Nombre de jours depuis l'installation	Nombre de pannes	Nombre de jours de pannes	Pourcentage du temps de bon fonctionnement
Brescou .....	1260	0	0	100
Trois Frères (1) ...	1280	6	112	91
Trois Frères (2) ...	920	1	40	96
Tiboulen de Maire ..	390	0	0	100
Grand Ribaud .....	1090	1	16	99
Rohein .....	610	0	0	100
Trois Pierres .....	780	0	0	100
Chat .....	480	0	0	100
Ile Noire .....	470	0	0	100
Barges .....	1130	1	156 (1)	86
Chauveau .....	690	0	0	100
Chancharon .....	970	1	3	100

(1) Cette durée est due à l'accès difficile au Pare de Barges.

Fig. 8. — Aérogénérateurs de la 2<sup>e</sup> génération type 150FP7 — Pannes

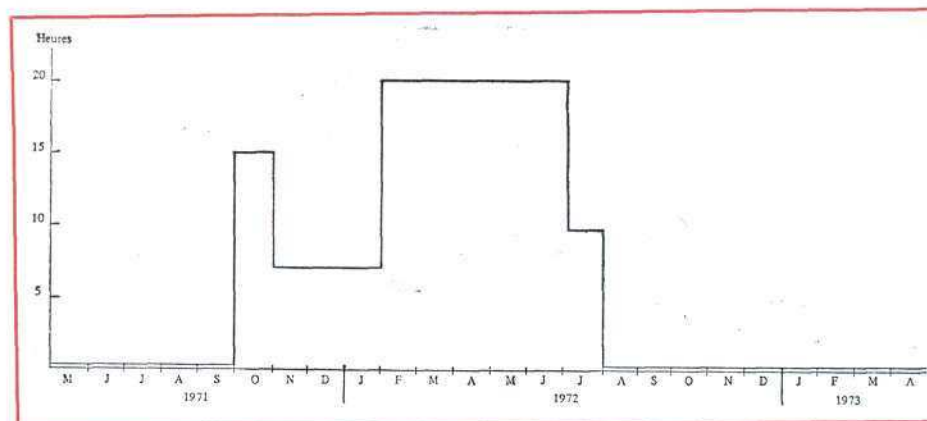


Fig. 9. — Phare de Brescou — Aérogénérateur 150FP7 — Temps de marche sur piles

l'amélioration du contrôle de l'exécution. On dispose maintenant de programmes de calcul des fréquences propres d'oscillation de structures tri-dimensionnelles qui peuvent traiter de n'importe quelle structure constituée de barres à condition que le nombre de degrés de liberté de la structure soit inférieur à 250.

Bien que l'on ait pu également mettre au point des programmes faisant connaître les réponses des structures aux excitations, ces programmes ne peuvent donner de renseignements suffisants lorsqu'il s'agit de construire un ouvrage déterminé. Il faudrait pour qu'il en soit autrement que l'on ait une meilleure connaissance d'une part des amplitudes des excitations et surtout des coefficients d'amortissement des structures que l'on considère.

On se contente donc pour le moment de dimensionner les ouvrages de telle façon que leurs fréquences propres soient « suffisamment » découplées des fréquences d'excitation.

Ajoutons qu'après avoir tenté d'employer des alliages d'aluminium qui présentaient a priori des avantages sérieux de poids et de bonne résistance à la corrosion, on a finalement renoncé à l'emploi de ce matériau. Le Service en est revenu à des supports en acier (ordinaire ou dans certains cas spéciaux, inoxydable). On n'a, en effet, pas pu réunir les moyens de contrôler de façon efficace l'exécution des assemblages en alliage léger ; de plus, l'alliage léger a une moins bonne résistance à la fatigue que l'acier.

Le plus souvent on réalise des structures suffisamment rigides pour que les fréquences propres les plus basses soient nettement plus grandes que les fréquences des deux premiers harmoniques de la fréquence correspondant à la vitesse normale de rotation des aérogénérateurs.

Les aérogénérateurs de la deuxième génération n'étant pas installés depuis très longtemps, il est difficile de dégager des notions de fiabilité. Cependant l'examen du nombre de pannes et du nombre de jours de pannes (Fig. 8) des aérogénérateurs 150FP7 installés depuis le plus longtemps, montre que ces machines semblent très fiables et on est en droit d'espérer que leur durée de vie dépassera la dizaine d'années.

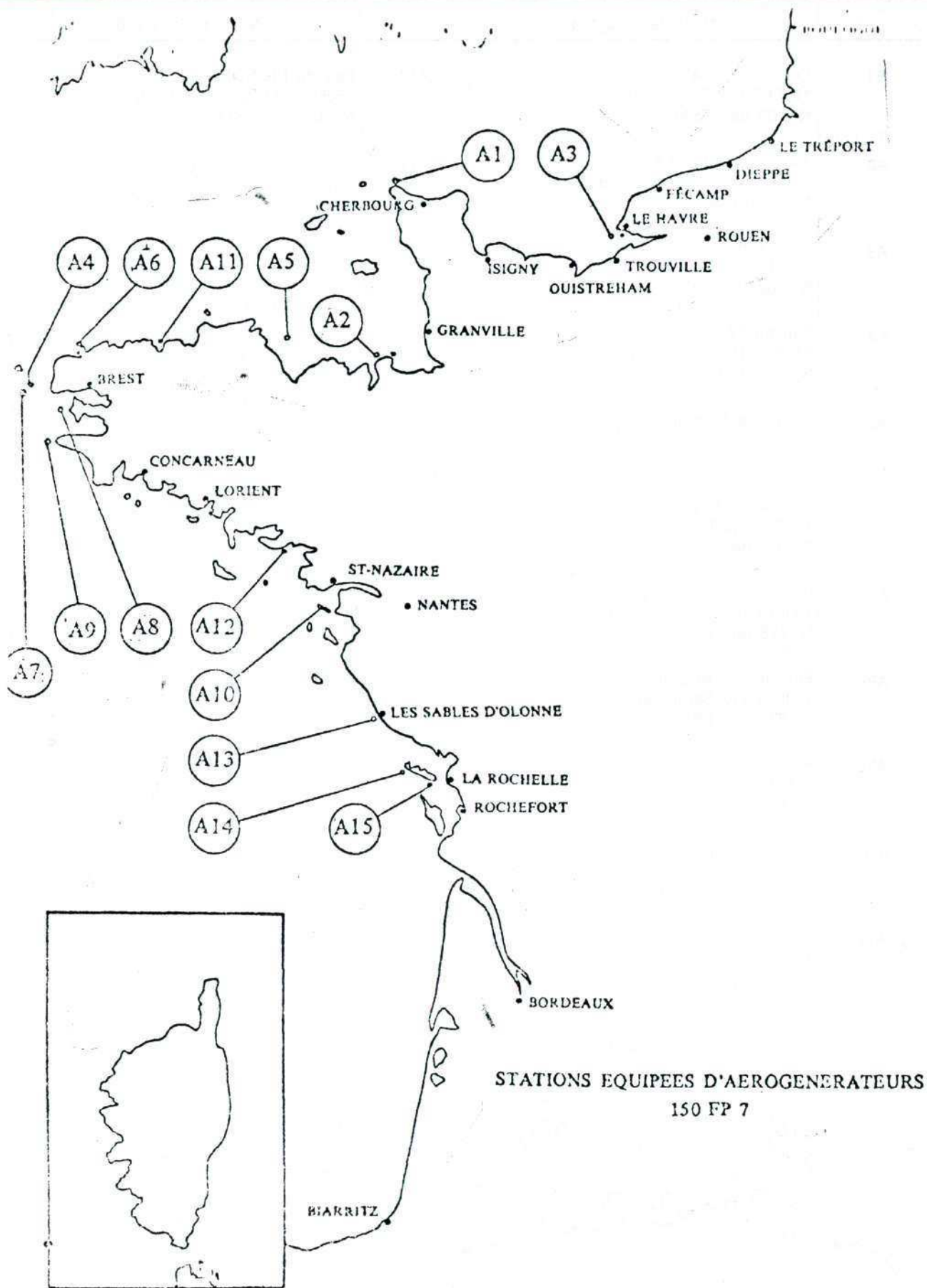
En ce qui concerne la fourniture de l'énergie, l'aérogénérateur remplit convenablement son rôle comme le montre la Fig. 9 sur laquelle sont portés les temps de fonctionnement sur piles du phare de Brescou. En 28 mois, les piles ont fonctionné 150 heures, soit approximativement 2 % du temps de fonctionnement du phare.

## Conclusion

Malgré les incidents décrits ci-dessus, les résultats obtenus dans l'ensemble sont encourageants.

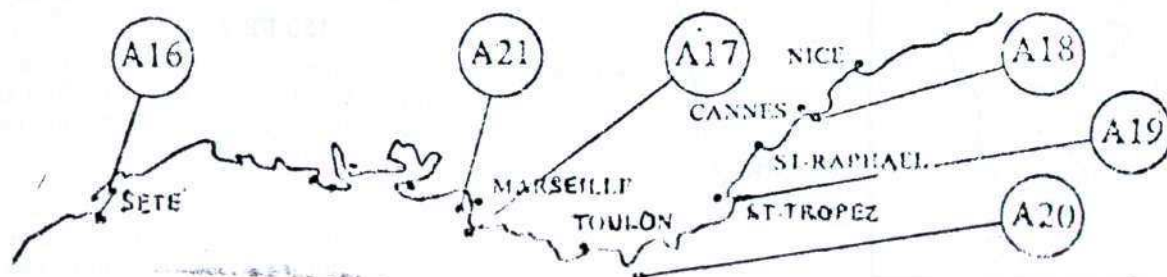
Les aérogénérateurs de moyenne puissance fournissant 150 W (150FP7) et 300 W (300FP7) sont maintenant considérés comme opérationnels et leur emploi tend à se généraliser pour l'alimentation des feux de moyenne puissance.

Le Service des Phares et Balises oriente maintenant ses essais dans deux directions. La première est l'électrification des bouées à l'aide d'aérogénérateurs de faible puissance (24 W). La seconde est la mise au point et l'utilisation d'aérogénérateurs de puissance plus élevée (4,1 kW) pour l'électrification et l'automatisation d'établissements de signalisation maritime importants.

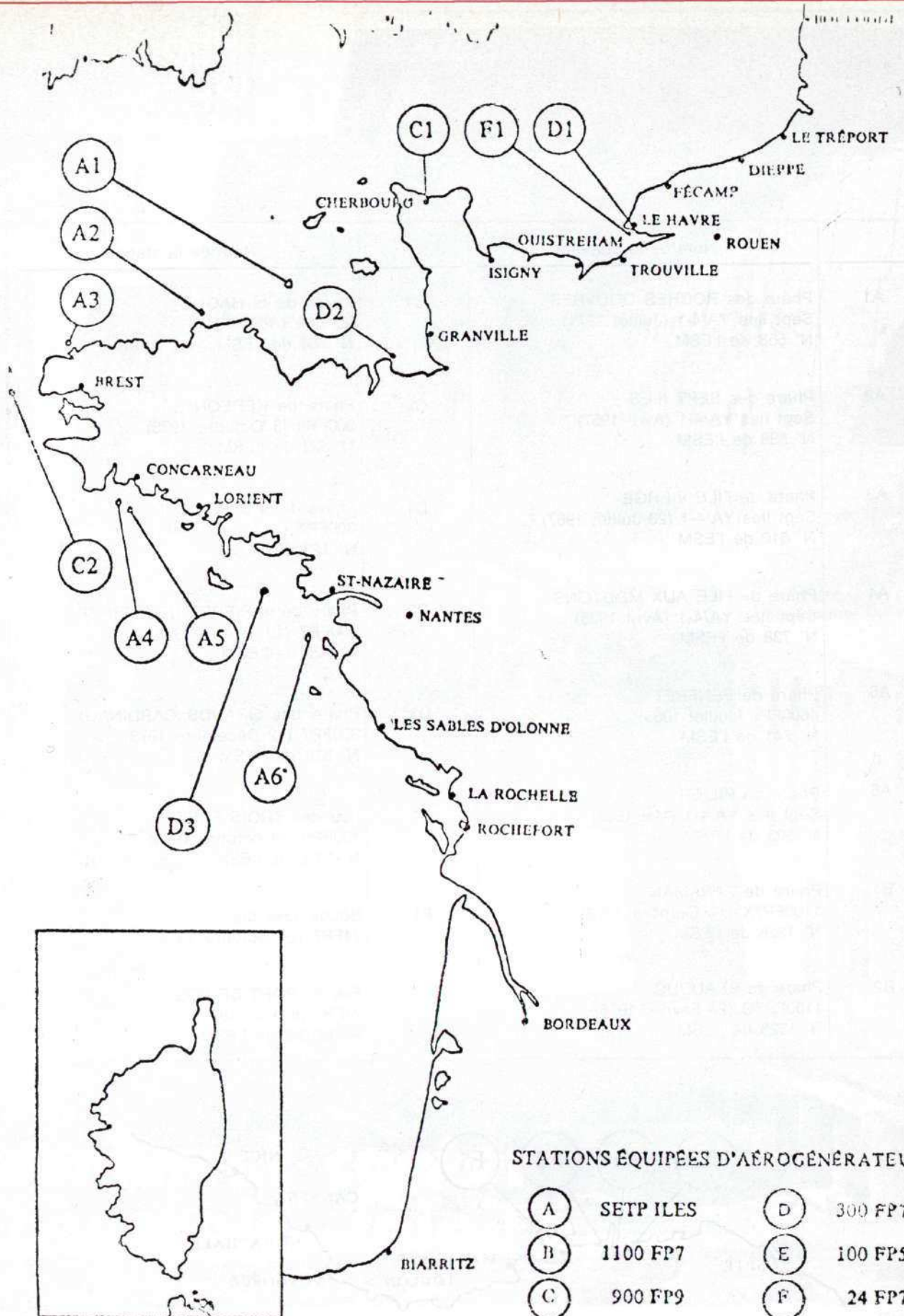


STATIONS EQUIPEES D'AEROGENERATEURS  
150 FP 7

	Nom de la station		Nom de la station
A1	Feu de la PLATE 150FP7 (20 Octobre 1975) N° 503 de l'ESM	A12	Feu du PIGNON 150FP7 (11 Octobre 1973) N° 823 de l'ESM
A2	Tourelle de la PLATE 150FP7 (26 Septembre 1975) N° 525-10 de l'ESM	A13	Phare des BARGES 150FP7 (20 Mai 1971) N° 1011 de l'ESM
A3	Plate-forme de PARFOND 150FP7 (Septembre 1971) N° 104/4 de l'ESM	A14	Phare de CHANCHARDON 150FP7 (17 Juillet 1969) N° 1039 de l'ESM
A4	Feu du FAIX 150FP7 (10 Octobre 1975) N° 636 de l'ESM	A15	Phare de CHAUVEAU 150FP7 (6 Décembre 1972) N° 1041 de l'ESM
A5	Phare de ROHEIN 150FP7 (21 Février 1973) N° 552 de l'ESM	A16	Feu de BRESCOU 150FP7 (19 Décembre 1972) N° 1299 de l'ESM
A6	Feu de l'ILE WRACH 150FP7 (16 Décembre 1973) N° 612 de l'ESM	A17	Phare de TIBOULEN de MAIRE 150FP7 (7 Septembre 1973) N° 1414 de l'ESM
A7	Phare des TROIS PIERRES 150FP7 (5 Septembre 1972) N° 628 de l'ESM	A18	Feu des MOINES 150FP7 (11 Août 1972) 1493/10 de l'ESM
A8	Feu de la PARQUETTE 150FP7 (19 Septembre 1973) N° 679 de l'ESM	A19	Feu de la MOUTTE 150FP7 (6 Décembre 1971) N° 1482 de l'ESM
A9	Phare du CHAT 150FP7 (29 Juin 1973) N° 698 de l'ESM	A20	Phare du GRAND RIBAUD 150FP7 (28 Mars 1971) N° 1459 de l'ESM
A10	Feu du haut banc du NORD 150FP7 (20 Novembre 1975) N° 1038 de l'ESM	A21	Feu du CAPCAVEAU 150FP7 (17 Juin 1975) N° 1413 de l'ESM
A11	Phare de l'ILE NOIRE 150FP7 (5 Juillet 1973) N° 596 de l'ESM		



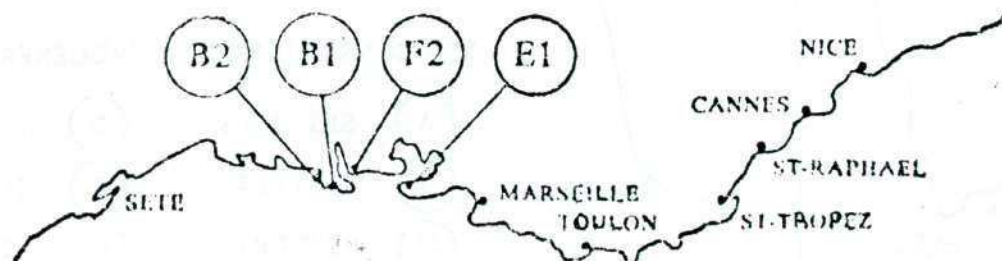


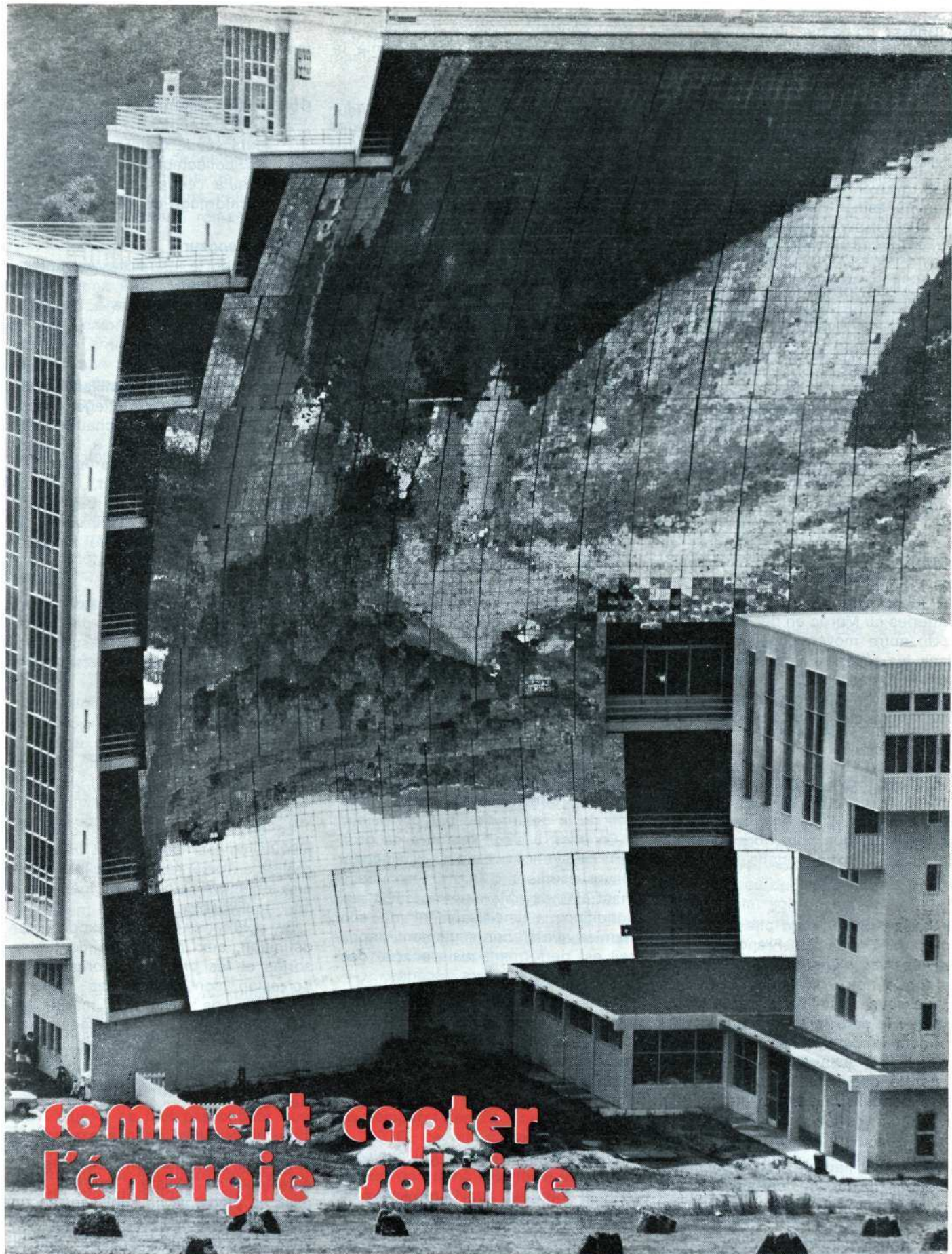


STATIONS ÉQUIPÉES D'AÉROGÉNÉRATEURS

(A)	SETP ILES	(D)	300 FP7
(B)	1100 FP7	(E)	100 FP5
(C)	900 FP9	(F)	24 FP7

	Nom de la station		Nom de la station
A1	Phare des ROCHES DOUVRES Sept Iles YA/4-1 (Juillet 1971) N° 558 de l'ESM	C1	Phare de la HAGUE 900FP9 (Août 1971) N° 504 de l'ESM
A2	Phare des SEPT ILES Sept Iles YA/4-1 (Avril 1957) N° 588 de l'ESM	C2	Phare de KEREON 900FP9 (3 Octobre 1973) N° 627 de l'ESM
A3	Phare de l'ILE VIERGE Sept Iles YA/4-1 (28 Juillet 1967) N° 610 de l'ESM	D1	Phare de la DIGUE SUD 300FP7 (17 Avril 1974) N° 123 de l'ESM
A4	Phare de l'ILE AUX MOUTONS Sept Iles YA/4-1 (Avril 1965) N° 738 de l'ESM	D2	Phare de la PIERRE DE HERPIN 300FP7 (10 Février 1975) N° 525 de l'ESM
A5	Phare de PENFRET 4600FP8 (Juillet 1965) N° 741 de l'ESM	D3	Phare des GRANDS CARDINAUX 300FP7 (12 Décembre 1973) N° 816 de l'ESM
A6	Phare du PILIER Sept Iles YA/4-1 (Mai 1968) N° 993 de l'ESM	E1	Feu des TROIS FRERES 100FP5 (24 octobre 1975) N° 1376 de l'ESM
B1	Phare de FARAMAN 1100FP7X (13 Octobre 1972) N° 1328 de l'ESM	F1	Bouée LH6 bis 24FP7 (24 Octobre 1974)
B2	Phare de BEAUDUC 1100FP7G (27 Février 1975) N° 1325 de l'ESM	F2	Feu du PORT DE FOS 24FP7 (6 Août 1973) N° 1350-9 de l'ESM





**comment capter  
l'énergie solaire**

(Photo Rapho)

Utiliser l'énergie solaire en « direct » est évidemment le procédé le plus exploitable parce que le plus rentable.

Pour se bronzer, par exemple, il suffit de s'allonger sur une plage face au soleil. Mais si l'on désire se bronzer toute l'année, jour et nuit, il faut bien trouver le moyen de capter et d'emmagasiner l'énergie au moment où elle est surabondante pour la restituer lorsqu'elle est absente.

Le globe terrestre est à la fois un capteur et un réservoir de stockage de l'énergie solaire. C'est le régulateur de chaleur parfait.

Songez que le fragile être humain que nous sommes avec ses besoins de confort en température et en degré d'humidité peut, s'il le désire, vivre toute l'année à 20° C et 70° d'hygrométrie rien qu'en se déplaçant à longueur de semaine d'un point à l'autre du globe terrestre et ce, pendant toute sa vie sans aucun risque de panne terrestre. Le Suédois qui descend en Espagne en avril obéit à cette loi. Le Français, l'Allemand et le Suisse vont bien recharger leurs batteries au Maroc en décembre, etc...

Un autre moyen consiste à puiser dans les réserves terrestres, à dissiper en fumée ce que la nature a mis des milliards d'années à transformer, puis accumuler pour arriver au même résultat.

C'est ce que notre génération a appelé le progrès de la civilisation. Rappelez-vous l'apprenti sorcier ! Où pensez-vous que peut nous mener la destruction exponentielle de notre stock de matières ?

Savez-vous — et je cite ici les paroles du Professeur Francia — que les réserves d'énergies sur lesquelles se fonde notre civilisation sont bien au-dessous du milliardième de l'énergie que le soleil a envoyé sur la terre pendant le dernier milliard d'années, c'est-à-dire beaucoup moins que l'énergie que le soleil envoie sur la terre pendant une seule année ?

Alors, au lieu de rechercher des solutions de facilité, certains savants essaient enfin d'utiliser en direct l'énergie solaire.

Je pense sincèrement que, dans l'histoire de la terre, le XX<sup>e</sup> siècle res-

tera peut-être comme le siècle de l'atome, mais à coup sûr comme le siècle de l'énergie solaire.

Capter, stocker, restituer, c'est tout le problème de l'Ingénieur Constructeur.

Pour capter, nous disposons aujourd'hui, grâce à de remarquables études faites sur le rayonnement par le Laboratoire d'Odeillo — permettez-moi ici de citer les Professeurs Trombe, Le Phat Vinh, Foex, ou encore les études des Professeurs Perrot à Alger et Francia en Italie — j'en oublie beaucoup et je leur demande de m'en excuser — d'éléments physiques précis que nous pouvons transposer dans le domaine pratique.

J'allais oublier mon illustre compatriote Catalan François Arago — 130 ans déjà — Wilson, Six, Wells, Pouillet, Melloni et Boussaingault. C'est donc sur des bases très précises qu'il nous est permis de travailler.

Je n'exposerai pas ici la façon dont on construit un capteur : ses composants de corps noir, d'effet de serre, de circulation de fluide, tous ces éléments ont été décrits par des techniciens bien plus capables que moi.

Mais je vous parlerai de la fiabilité dans le temps d'un capteur.

Une installation d'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage doit être avant toute chose une installation durable, c'est-à-dire protégée de la destruction par corrosion.

En effet, il s'agit toujours de grosses installations et par conséquent, l'investissement doit être essentiellement amortissable dans le temps. Les conditions d'amortissement ne sont réunies que si, non seulement, l'appareil est performant mais encore destiné à durer plusieurs décades.

Une installation de chauffage solaire se compose de plusieurs parties, chaque partie étant exposée à des corrosions différentes :

### 1 - Les capteurs :

Un capteur est composé de deux parties :

- a) le coffre et son calorifuge,
- b) le capteur proprement dit.

### 2 - Le circuit primaire :

Le capteur, ou l'ensemble de capteurs, est relié à l'échangeur par des canalisations.

Ici aussi, nous devons distinguer trois parties différentes :

- a) le raccordement du ou des capteurs sur le collecteur,
- b) les collecteurs en eux-mêmes, jusqu'à l'échangeur,
- c) le calorifuge de ces collecteurs.

### 3 - L'échangeur :

qui comporte les parties suivantes :

- a) le réservoir,
- b) le corps d'échange à l'intérieur du réservoir,
- c) le calorifuge.

4 - Enfin l'installation d'utilisation, selon qu'il s'agit de chauffage central ou de production d'eau chaude, peut être, elle aussi, soumise à la corrosion suivant la nature des eaux.

Il faut donc, également, une protection qui est différente selon qu'il s'agit de chauffage (tubulures et radiateurs) ou d'eau chaude sanitaire (tuyauteries de distribution).

Nous allons examiner les divers points de corrosion, poste par poste, ainsi que les moyens de supprimer ou réduire au maximum cette corrosion.

## 1 - Les capteurs

### a) Le coffre et son calorifuge

La plupart des capteurs construits jusqu'à ce jour comportent un coffre réalisé en acier et protégé par peinture, émaillage, zingage ou même métaux inoxydables.

Le coffre est toujours exposé, par définition, aux intempéries de toutes sortes et les principales origines de corrosion sont, selon les régions, l'humidité de l'air, l'air marin, les retombées de soufre notamment dans les villes ou à proximité des usines, qui arrivent à détruire même les couvertures en zinc pur (voir région parisienne).

Les coffres en acier ont une durée limitée et ceux qui sont protégés par émaillage ne résistent que si à la mise en place, ils ne subissent aucun choc susceptible de détériorer cet émaillage, ce qui est assez délicat compte tenu des conditions de manu-

tention toujours difficiles pour poser des capteurs sur les toitures.

L'acier inoxydable, dans certains alliages, semble donc être une bonne solution. Toutefois, il est très difficile de réaliser avec ce matériau une parfaite étanchéité du calorifuge en lui-même, pour éviter toute pénétration de l'humidité dans celui-ci, ce qui, automatiquement, réduit le rendement.

La meilleure solution, à ce jour, semble donc être la construction du coffre en polyester armé fibre de verre, le calorifuge étant pris en sandwich entre deux plaques de polyester armé et raccordées entre elles d'une façon absolument étanche (genre construction marine).

#### b) *Le capteur proprement dit*

Le capteur, construit soit à base de plaques d'acier embouties, soit encore à base de tubes, peut se corroder intérieurement ou extérieurement.

Sa construction dans des métaux inoxydables, tels que le cuivre ou l'acier inox, pose des problèmes de construction et de prix.

L'aluminium sera une bonne solution le jour où seront résolus les problèmes de résistance à la pression et de destruction par transport électrolytique de l'aluminium vers les métaux à plus fort potentiel (fer ou cuivre des circuits).

La plupart du temps, il est donc construit à base de fer noir.

Cet acier doit être protégé extérieurement par un revêtement qui n'altère pas les qualités de conductibilité du métal.

Il apparaît donc que l'utilisation d'émaux cuits au four est une bonne solution. Encore faut-il qu'à la maintenance et à la mise en œuvre dans les coffres de protection, cet émail n'ait pas été altéré.

De plus, il ne faut pas oublier que la face exposée au rayonnement doit être d'un noir profond et il est bien évident que les émaux répondent mal à cette caractéristique, gardant toujours une certaine réflexion à la lumière oblique ou dans l'infra rouge. A la mise en place, il est nécessaire

d'apporter une dernière retouche sous la forme d'un voile noir mat appliqué manuellement.

Les points sensibles de corrosion sont, pour l'extérieur, la base des panneaux, car il se produit toujours une certaine condensation sur la vitre qui s'écoule le long de cette dernière, retombe sur la base du panneau jusqu'à arriver à provoquer une corrosion sur la base du capteur si celui-ci n'est pas parfaitement protégé.

Quant au circuit intérieur, il est bien évident que c'est toujours la partie haute du capteur qui se corrode, par présence d'air ou de gaz, soit introduit au moment du remplissage, soit simplement par dégazage pendant l'élévation de température de l'eau.

La présence de purgeurs automatiques n'est pas une solution car si ces dégazeurs font bien leur office au moment de l'élévation de température, lorsque le liquide se dilate, par contre, pendant le refroidissement donc la concentration du fluide primaire, ils laissent rentrer de l'air.

A moins que l'installation soit constamment laissée sous pression grâce à un vase d'expansion étanche, une autre solution consiste à utiliser des purgeurs manuels qui seront manœuvrés pendant plusieurs jours après la première mise en service, jusqu'à obtenir un dégazage complet du circuit.

Bien entendu, ceci suppose des circuits primaires absolument étanches. De ce fait, l'ensemble du circuit primaire et particulièrement les capteurs doivent pouvoir supporter des pressions élevées.

Ces pressions ont deux origines. D'abord, au remplissage, la simple pression de l'eau d'alimentation, ensuite les élévations importantes de température en cas de non circulation, même sur un capteur plan. Dans ce dernier cas, il arrive de constater des températures de l'ordre de 130° ou 150° C, ce qui correspond à des pressions de 3 ou 5 bars/cm<sup>2</sup>. Le capteur doit donc résister à des pressions élevées. Nous pensons qu'une épreuve à 10 bars, correspondant à 183° C, est suffisante pour des capteurs plans.

Bien sûr, la solution des fluides thermiques ayant un point d'ébullition très élevé est un moyen de pallier cet inconvénient, mais n'oublions pas que la réglementation de l'hygiène interdit l'utilisation de tels fluides pour le réchauffage de l'eau sanitaire, où il y a possibilité, en cas d'accident, de passage de ces fluides dans l'eau de consommation.

Il est bien certain que ce circuit primaire doit également être protégé contre le gel pendant les heures de non ensoleillement. Normalement, on utilise du glycol dans des concentrations qui sont données par les Constructeurs, mais le glycol a le grave inconvénient de provoquer des corraisons, il faut donc ajouter à ce produit des inhibiteurs de corrosion.

La protection antigél nous semble donc devoir être tout simplement réalisée par une circulation très réduite du fluide primaire.

## 2 - Les collecteurs

#### a) *Le raccordement des capteurs sur les collecteurs*

C'est un point très délicat. En effet, du simple fait de l'élévation en température et de refroidissement, le métal est toujours en mouvement et ces dilatations provoquent, à la longue, des détériorations des points fixes de raccordement.

Il faut donc permettre des dilatations et les raccordements doivent être exécutés sous la forme de lyres de métaux ou de manchettes souples soit en métal soit en matière synthétique spéciale résistant bien sûr à la température et à la destruction par agent atmosphérique ou circulation intérieure de liquide.

Le collecteur raccordant les divers capteurs entre eux est toujours réalisé en tube d'acier sur lequel sont soudés les manchons de raccordement.

Il n'y a pas de protection intérieure particulière à assurer sinon à respecter ce que nous avons dit pour le liquide véhiculé dans les capteurs.

Quant à la protection extérieure, elle peut être réalisée par de bonnes peintures, par exemple à base de zinc pratiquement pur. En effet, la

partie la plus importante de la protection anti-corrosion de ces tubes est le calorifuge.

Ici, l'épaisseur du calorifuge doit être calculée en fonction de la température extérieure du lieu où est réalisée l'installation. Mais par-dessus ce calorifuge, il doit être fait une étanchéité la plus parfaite possible pour qu'il n'y ait pas pénétration d'humidité ni dans le calorifuge, ni jusqu'au niveau de la canalisation.

Un bon exemple est l'utilisation de coquilles en laine de verre recouvertes par un enduit réalisé en polyester et fibre de verre.

Les parties de collecteur ou plutôt les tuyauteries de raccordement entre les collecteurs et l'échangeur, passent la plupart du temps à l'intérieur des immeubles et doivent simplement faire l'objet d'une bonne protection par peinture et d'un bon calorifuge.

Bien entendu, l'ensemble du circuit doit être constitué de matériaux homogènes et non pas de qualités de métaux différentes, ce qui ne manquerait pas, bien sûr, d'entraîner des corrosions par différence de couple.

#### b) L'expansion

Celle-ci doit toujours être faite par réservoir étanche à vessie sous pression d'azote.

Tout réservoir d'expansion à l'air libre doit être condamné comme étant à l'origine de la destruction de toutes les installations.

#### c) Une dernière remarque sur l'eau de remplissage du circuit primaire

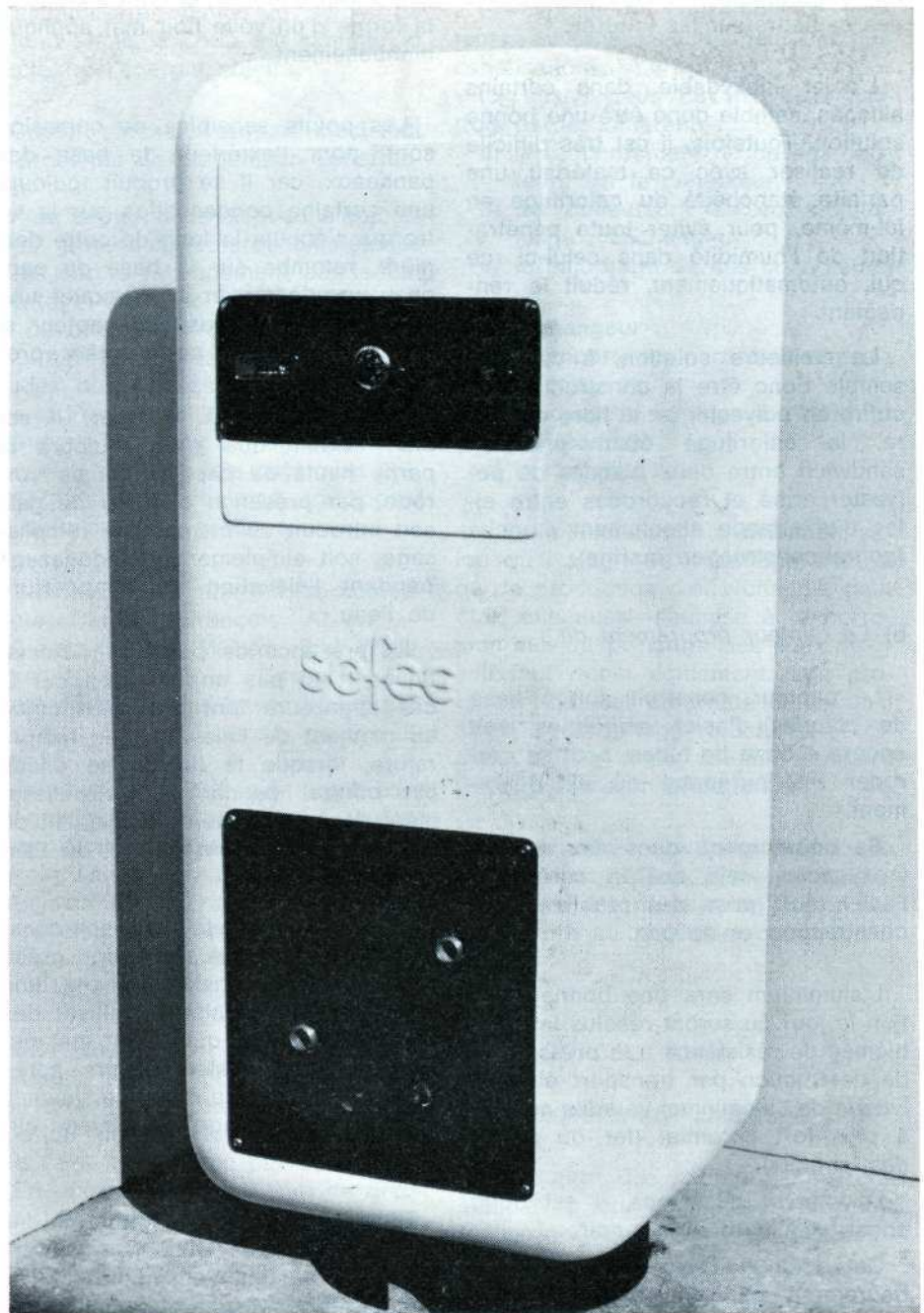
Autant que possible, celle-ci doit être adoucie pour ne pas risquer de provoquer des bouchages sur les capteurs où le circuit d'eau est toujours laminé.

### 3 - L'échangeur

#### a) Le réservoir

Pour la construction du réservoir, plusieurs matériaux peuvent être utilisés :

- soit l'emploi d'acier inoxydable
- soit l'emploi d'acier simple protégé par émaillage intérieur, par enduits



Chauffe-eau Phoebus.

spéciaux tels que Epoxy, polyester Rilsan

- soit enfin, par zingage avec protection cathodique.

Ces méthodes de protection des réservoirs sont très connues et nous ne nous étendrons pas sur ce sujet.

#### b) Le corps d'échange à l'intérieur du réservoir

Nous ferons simplement remarquer que c'est surtout la façon dont est fabriqué le corps d'échange à l'intérieur

du réservoir qui va nous guider dans le genre de protection à adopter.

En effet, le corps d'échange, en matière de récupération de l'énergie solaire, a une telle surface qu'il est absolument impossible, si l'on veut obtenir des rendements corrects, de le construire autrement que par serpentins enroulés. Ces serpentins sont soit en acier soit en cuivre. Dans le cas de serpentins en cuivre, le corps de réservoir peut être protégé par émaillage ou enduit epoxy, polyester, rilsan, etc..., mais comme il peut,

sous certaines conditions, provoquer la naissance de corrosion au circuit d'utilisation secondaire, la présence d'une protection cathodique est quasi indispensable. Si le serpentín est construit en tube d'acier inoxydable, le réservoir doit aussi être dans le même métal.

Si le serpentín est réalisé en fer noir, deux protections sont possibles :

- d'abord la rilsanisation du serpentín, mais il y a chute dans le coefficient d'échange et la surface du serpentín doit être augmentée.
- soit par projection de zinc ou galvanisation et il ne peut y avoir de réelle protection dans le temps que si l'on ajoute une protection cathodique par anode de magnésium ou d'aluminium.

Cette protection cathodique agit de la façon suivante :

L'appareil de protection cathodique se compose d'une source de courant continu basse tension, reliée par son pôle + à une construction en méplat aluminium 60 x 20 judicieusement disposée dans le réservoir où se fait le chauffage de l'eau, et par son pôle — à la masse métallique de ce réservoir qui devient ainsi cathode. Une unité électronique, insérée sur le circuit et gouvernée par l'admission d'eau froide au réservoir, assure d'une part, la constance de l'intensité appliquée aux anodes, même si la résistance dans le système eau-électrodes subit des variations, d'autre part, un dosage d'intensité de traitement en fonction de l'admission d'eau froide dans le réservoir.

Les réactions suivantes ont lieu dans le champ anode-cathode :

Dans l'eau, l'anode se décompose en hydroxyde d'aluminium hydraté, riche en énergie et au fort pouvoir d'absorption. La teneur en oxygène dissous est ramenée à un niveau proche de la valeur saturante à pression atmosphérique, c'est-à-dire en sous-saturation par la pression statique existant dans l'installation. Environ les deux tiers de l'oxygène prélevé le sont par combinaison avec l'aluminium de l'anode, le reste par réaction avec de l'hydrogène à l'état naissant formé à la cathode, en ion hydroxyde  $\text{OH}^-$  puis en  $\text{H}_2\text{O}$ . Il semble bien que la teneur en  $\text{CO}_2$  soit

ramenée au taux d'équilibre, puisque l'eau traitée dépose une couche carbonatée, mais nous ne savons pas exactement par quelle réaction.

Les carbonates précipités par l'effet du chauffage subissent une modification de structure cristalline qui les rend amorphes, sont soumis à une électro-coagulation et une occlusion par hydroxyde d'aluminium et sédimement au fond du réservoir en une boue meuble facilement évacuable par purge hebdomadaire.

L'eau, ainsi traitée, dépose dans les canalisations qu'elle parcourt une couche carbonatée protectrice à croissance auto-inhibitrice analogue à celle déposée par une eau froide passive. Cette couche peut, dans certains cas, recouvrir, en les passivant, d'importantes pustules de rouille, dans d'autres cas, l'hydroxyde d'aluminium hydraté mi-soluble que l'eau traitée contient en très faible quantité, peut provoquer l'élimination de pustules en décupant le métal, après quoi celui-ci est recouvert par la couche protectrice. Dans tous les cas, la couche protectrice élimine les couples locaux en les recouvrant. L'eau traitée est passive à l'égard même d'installations exécutées en mixité de métaux, par exemple cuivre-fer.

Toutefois, la couche protectrice, tout comme celle déposée par une eau froide passive, se forme plus facilement sur zinc que sur fer, parce que le zinc présente avec les carbonates une meilleure interpénétration cristalline, et parce que le fer a deux valences, donc deux phases de corrosion, alors que le zinc n'en a qu'une.

La couche protectrice déposée par une eau carbonatée traitée par électrolyse contient essentiellement des carbonates, des sels du métal sous-jacent et de l'hydroxyde d'aluminium ; par une eau douce ou adoucie, l'hydroxyde d'aluminium seul constitue la couche protectrice dont l'efficacité reste entière.

Les réactions électrolytiques assurant le traitement efficace de l'eau demandent au moins 20 mn dans des conditions favorables et dans les conditions les moins favorables, 60 mn. Cette durée résulte du fait que les réactions sur l'oxygène n'ont lieu qu'au voisinage immédiat des électrodes, et que l'oxygène, faiblement

ionisé, ne se dirige vers ces zones que par diffusion.

L'anode est dimensionnée pour durer 2, 3 ou 4 ans et alors doit être renouvelée.

### c) Le calorifuge de l'échangeur

Après protection extérieure du réservoir par peinture anti-rouille ou galvanisation ou émail, le calorifuge doit être très soigneusement réalisé. L'épaisseur conseillée est de 12 cm de laine de verre puis ce calorifuge lui-même est protégé par une jaquette étanche.

Là aussi, l'emploi de thermodurcissables paraît être recommandé, surtout s'il s'agit de réservoirs placés à l'extérieur ou enterrés ou dans des locaux exposés à l'humidité.

## 4 - L'installation d'utilisation

L'installation d'utilisation en elle-même, s'il s'agit de chauffage central, ne pose pas de problèmes particuliers, compte tenu du liquide primaire que nous avons décrit plus haut. On doit simplement veiller à ce que tous les points hauts soient très soigneusement purgés par des purgeurs manuels.

L'installation de distribution d'eau chaude sanitaire rejoint ici les normes de protection ayant fait l'objet d'une réglementation et de publications du C.S.T.B. en France.

Nous rappelons pour mémoire :

- la protection cathodique réalisée par un procédé semblable à celui que nous avons décrit pour la protection de l'échangeur,
- la protection par poly-phosphate de zinc, par l'intermédiaire de pompes doseuses directement asservies au débit de l'installation,
- la protection par injection de silicate liquide, encore que pour cette dernière, compte tenu de l'Arrêté limitant les doses d'acide silicique à introduire dans l'eau de consommation, elle soit relativement difficile à obtenir d'une façon parfaite.

Quoi qu'il en soit, il n'est vraiment possible de garantir une installation

d'utilisation que si celle-ci a été réalisée dans des normes très strictes au moment de sa réalisation. Comme la plupart du temps, les installations d'utilisation de l'énergie solaire sont raccordées sur des réseaux de distribution existants, l'installateur ne pourra assurer aucune garantie sur ces réseaux.

## Stockage de l'énergie

Le stockage par changement d'état d'un corps est la solution d'avenir mais de nombreux problèmes sont encore à résoudre et je vous rappelle que je ne suis pas un chercheur mais un industriel.

Mon propos est de porter donc que sur l'eau comme agent d'accumulation, les autres matériaux utilisés dans la construction tels que béton, roche ou autre agent ayant dix fois moins d'inertie que l'eau.

Dans une installation de chauffage, l'eau en provenance des capteurs contient une charge calorifique très variable non seulement fonction des heures de la journée, mais encore de la saison et des conditions climatiques.

L'utilisation directe du fluide dans les corps d'émission est donc impensable sans un régulateur. C'est ce rôle de régulateur-accumulateur que joue l'eau contenue dans un ballon de production d'eau chaude sanitaire.

Pour le chauffage des locaux, deux problèmes :

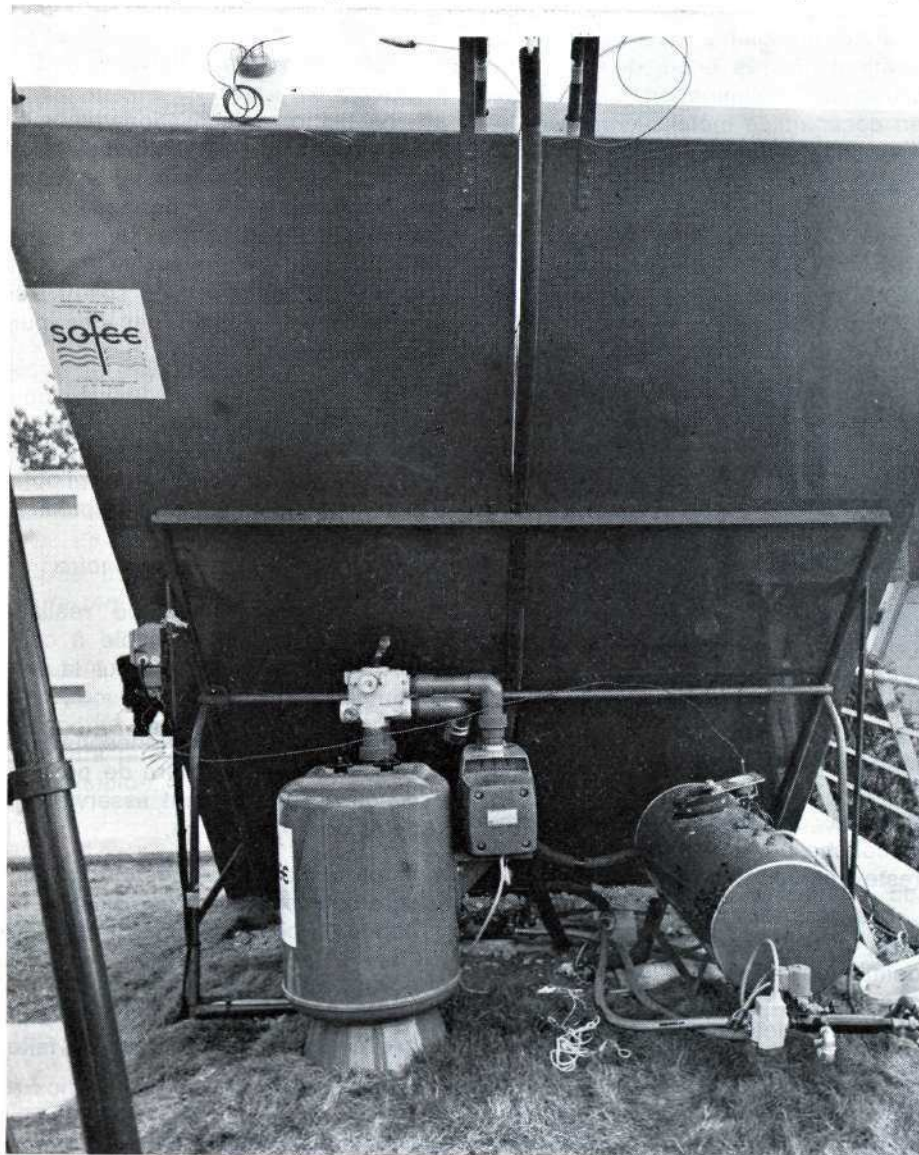
- le premier, amener l'eau du réservoir compensateur de stockage jusqu'à une valeur en degré suffisante pour que ce stockage ait quelque chose à échanger avec l'air à réchauffer (par exemple : 40° C pour maintenir, grâce à des radiateurs, une ambiance d'habitation à 20° C)
- le second, stocker tout ce qui dépasse la valeur admise (ex 40° C) et restituer les calories pendant les heures d'obscurité solaire. Ceci ne présente aucune difficulté si l'on comprend bien le problème posé.

Chercher à « stocker » avant « d'utiliser » l'énergie solaire conduit à surdimensionner tellement les installations qu'elles sont inexploitable.

Il faut donc renverser les données et permettre l'utilisation maximum de l'énergie avant de penser à la stocker.

Chauffage d'une piscine par énergie solaire.

(Photo Rapho)



Grâce à un appareillage simple ayant fait l'objet d'un Brevet Français en date du 13-02-1974, le fluide en provenance des capteurs entre d'abord dans la chaudière régulateur solaire, mais repart aussitôt vers le circuit corps de chauffe sans perte de calories, sauf, en cas de puisage d'eau sanitaire qui est toujours prioritaire.

En cas de non puisage, le fluide part vers les corps de chauffe où il perd ses calories et revient vers la chaudière. Il contient encore des calories qui sont conservées précieusement. C'est l'eau la plus froide de la chaudière régulateur qui part vers les capteurs pour être réchauffée et ainsi de suite.

Dès que la température intérieure des pièces à réchauffer est atteinte, grâce à une régulation thermostatique simple, le fluide est renvoyé vers la chaudière à une température presque aussi élevée qu'à son arrivée directe des capteurs et il se crée ainsi un stockage utilisable.

Personne ne peut dire quelle sera la valeur et l'importance de ce stockage. L'essentiel c'est qu'il existe et qu'il soit utilisable. C'est-à-dire qu'il ne perde pas sa valeur en se mixant avec les couches froides de la chaudière.



Pour obtenir ce résultat, nous utilisons des plaques perforées qui divisent la chaudière en zones stratifiées et créent une perte de charge suffisante pour freiner les mouvements de convection naturelle de l'eau à l'intérieur du stockage - Brevet n° 75-03-789.

A l'expérience, il est apparu que par capteurs plans on ne pouvait pas stocker en période d'utilisation du chauffage plus de 20 à 40 Kcal utilisables par litre d'eau de stockage.

Compte tenu de l'apport moyen journalier des capteurs, il est donc facile de déterminer le volume de la réserve.

Exemple :

Un ensemble de capteur donnant de 100.000 à 150.000 Kcal/jour en hiver recevra une chaudière régulateur de :

$$\frac{100.000}{20} = 5.000 \text{ litres.}$$

Ceci suffit pour couvrir la période journalière d'obscurité solaire, bien souvent aussi pour couvrir le lendemain pluvieux d'une journée ensoleillée.

Selon notre expérience, tout stockage plus important (par exemple celui dit de pré-saison avec une plus grosse capacité) est absolument inutile et inefficace, son utilité n'atteignant même pas la fin de l'automne sans aucune possibilité de se reconstituer en hiver.

## Expériences

Je puis à présent vous citer des chiffres précis dont certains remontent à plus de 15 ans :

- 1) **Hôtel à Perpignan** (66000 France).  
Production d'eau chaude sanitaire.  
7 ans de relevés.  
Economie en fuel par m<sup>2</sup> de capteur installé :  
Mai à août . . . . . 200 litres  
Novembre à février .. 50 litres  
Septembre - Octobre - . . . . .  
Mars et avril . . . . . 70 litres  
Soit 320 litres par an par m<sup>2</sup> de capteur.

- 2) **Chauffage maison d'habitation région Pyrénées-Orientales** (66000 France).

Murs anciens : terre et cailloux - non isolés.

Surface habitable : 200 m<sup>2</sup>.

Volume : 500 m<sup>3</sup>.

Dépense énergie : 15.000 cal/h à + 20° C — 4° C.

Batterie : 54 m<sup>2</sup> orientée plein sud 65°.

Chaudière : 3.500 litres.

Batterie électrique : 16 Kw.

Production d'eau chaude sanitaire.

Mise en service : novembre 1974.

Dépense énergie d'appoint électrique : 350 Kw pour l'hiver.

- 3) **Chauffage maison d'habitation - Canet-Plage** (66000 France).

Surface habitable : 90 m<sup>2</sup>

Volume : 250 m<sup>3</sup>

Dépense énergie : 7.500 cal/h + 20° C — 4° C

Batterie : 18 m<sup>2</sup> orientée plein sud 70°

Chaudière : 2.000 litres

Batterie gaz : 10.000 cal/h

Production d'eau chaude sanitaire

Mise en service : janvier 1975

Dépense énergie d'appoint gaz : 0 pour l'hiver.

- 4) **Chauffage maison d'habitation - Perpignan** (66000 France).

Murs non isolés

Surface habitable : 140 m<sup>2</sup>

Volume : 380 m<sup>3</sup>

Dépense énergie : 14.000 cal/h + 20° C — 4° C

Batterie 24 m<sup>2</sup> inclinée 25° - orientée sud-ouest

Chaudière : 1.500 litres

Batterie gaz : 20.000 cal/h

Production d'eau chaude sanitaire

Mise en service : novembre 1974

Dépense d'énergie d'appoint : 1.500 kg de propane pour l'hiver.

La consommation des années précédentes était de 3.500 kg de gaz.

- 5) **Serre horticole à Ollioules** (83000 Var).

Surface au sol : 200 m<sup>2</sup>

Dépense énergie : 32.000 cal/h + 18° C — 4° C

Batterie 45 m<sup>2</sup> orientée plein sud inclinée à 70°

Températures obtenues et enregistrées variant de + 14° C à 28° C

Chaudière : 5.000 litres

Batterie électrique : 32 Kw/h régulée en step

Dépense sur 51 jours de chauffe : 98 Kw pour l'hiver.

D'autres installations de chauffage central ont fonctionné cet hiver à Cuttoli-Cortichiato (Corse) pour le compte de la Société Elf et à Banyuls-sur-Mer (66000), mais nous n'avons pas de chiffres exacts à communiquer.

## Exemple d'énergie diffuse

**Hôtel « Clair Soleil » à Odeillo Font-Romeu** (66000)

Date du 5 mars 1975.

Température extérieure : — 5° C

Temps très couvert

Eau froide : + 2° C

L'essai a commencé à 11 h et s'est terminé à 13 h car il s'est mis à neiger.

On a remonté 3.000 litres d'eau de 4 à 14° centigrades, soit un gain de 30.000 Kcal, soit encore 15.000 cal/h.

Etant donné que l'installation comporte 30 m<sup>2</sup> de capteurs, la récupération a été très exactement de 500 Kcal/h/m<sup>2</sup>, ce qui pour du diffus paraît considérable.

## Conclusions

Nous avons voulu dans cet exposé donner des indications précises qui peuvent directement profiter aux constructeurs.

L'énergie solaire est notre chance. Elle ne doit en aucun cas faire l'objet de contre références.

La réussite d'une installation en cette matière est séparée de l'échec de l'épaisseur d'un cheveu.

Certes, les prix de construction du matériel spécifique sont élevés compte tenu des qualités exigées.

Le malheur serait que, par esprit de bénéfice, des constructeurs plus ou moins aventureux espèrent diminuer le prix en abaissant la qualité. Ce n'est que par l'industrialisation et de très hautes cadences de production que l'on arrivera à conserver les qualités techniques élevées des matériaux tout en offrant des prix susceptibles de larges diffusions.

J.-P. MADERN.

Président Directeur Général  
SOFEE.

# chauffage et eau chaude sanitaire

## à l'école Nationale Technique des mines d'Alès

par Serge BIELIKOFF

*Ingénieur ENSCP, Docteur ès-Sciences,  
Responsable développement solaire Elf-Aquitaine.*

Le Groupe Elf Aquitaine, dans le cadre du développement de sa diversification énergétique, s'est donné depuis près de deux ans mission de sensibiliser concrètement le public aux possibilités d'application à court terme des énergies nouvelles, notamment l'énergie solaire, et d'en promouvoir l'utilisation :

- Production et distribution par la S.O.F.E.E. — dans laquelle Elf Aquitaine a une participation — de matériels héliotechniques dont le passage actuel à la production de petite série permettra, à court terme, un abaissement des prix et un élargissement du marché ;
- Réalisation avec l'aide des Pouvoirs Publics et des Collectivités locales d'installations de production d'eau chaude sanitaire et de chauffage alimentant des ensembles de logements, des bâtiments publics, des ensembles agricoles, industriels, commerciaux, touristiques et devant servir de référence nationale ;
- Développement d'applications de pompage de l'eau en zone désertique grâce à la conversion directe de l'énergie solaire en électricité par cellules photovoltaïques ;
- Poursuite de la recherche appliquée pour l'amélioration des techniques solaires et la recherche de nouvelles applications : capteurs à hautes performances, mise au point de nouveaux systèmes d'accumula-

tion de calories et de complémentarité avec d'autres sources énergétiques, dessalement d'eau saumâtre, climatisation.

C'est dans le cadre de cette action de développement que l'Ecole Nationale Technique des Mines d'Alès a demandé à S.O.F.E.E. et Elf Aquitaine d'assurer l'étude et la réalisation des équipements de production d'eau chaude sanitaire et de chauffage par énergie solaire de 16 bâtiments destinés au logement de 300 élèves de l'Ecole. Une première tranche de 9 bâtiments de 20 chambres est en cours de réalisation.

Cette opération, exemplaire tant par la taille des équipements solaires que par des possibilités exceptionnelles d'expérimentation, répond à ce souci de démonstration et de promotion de l'énergie solaire à une échelle nationale. Elle a reçu l'appui de la Délégation aux Energies Nouvelles, de l'Agence pour les Economies d'Energie, du Ministère de la Qualité de la Vie, de l'Etablissement Public Régional du Languedoc-Roussillon, du Conseil Général du Gard.

---

### L'Ecole Nationale Technique des Mines d'Alès (Gard)

---

Placée sous l'autorité du Ministre de l'Industrie et de la Recherche, elle a

été fondée par l'Ordonnance Royale du 22 septembre 1843. C'est l'un des établissements les plus anciens spécialisés dans l'enseignement de l'art des mines. Il assure la formation d'ingénieurs pour les travaux publics, le bâtiment, les routes, l'industrie des matériaux de construction, les carrières, les mines, la recherche minérale.

Située à 44° N de latitude et 172 m d'altitude, l'Ecole bénéficie d'un ensoleillement excellent.

## Besoins thermiques

### CHAUFFAGE

- Volume à chauffer 650 m<sup>3</sup> par bâtiment de 20 chambres (325 m<sup>3</sup> par bâtiment de 10 chambres).
- Isolation du bâtiment = 1,07 kcal/h m<sup>3</sup> °C.
- Température minimale de base : — 6° C.

### EAU CHAUDE SANITAIRE

- 50 litres par jour et par chambre, à 45° C.
- L'estimation de ces besoins, mois par mois, est résumée dans le tableau ci-après.

## Solution retenue

### CAPTEURS SOLAIRES

- Sans concentration, à effet de serre avec vitrage simple à circulation d'eau de modèle S.O.F.E.E. 3.



Maison solaire en Corse. Réalisation Sofee.

- 54 m<sup>2</sup> par bâtiment de 20 chambres réalisés sous forme de panneaux de 9 m × 6 m disposés selon une formule originale étudiée par l'Architecte M. V. Sage, extérieurement au bâtiment tout en faisant corps avec celui-ci et offrant un abri à la cage d'escalier.

#### STOCKAGE

- Accumulateur de 5 000 litres à effet de stratification. Reçoit l'eau des capteurs sans échangeur.

#### CIRCUIT CHAUFFAGE

- Deux types de chauffage seront réalisés dans les bâtiments d'Alès, de façon à comparer les performances :
  - dalles de plancher,
  - radiateurs de grande surface basse température (40-45° C).

#### EAU CHAUDE SANITAIRE

- Ballon 500 litres équipé d'un échangeur dans lequel on établit une cir-

culatation d'eau chaude prise dans la chaudière chauffage.

#### APPOINT

- Par bâtiment de 20 chambres, l'économie d'énergie est d'environ 20 000 thermies par an et représente 51,6 % des besoins. Il est prévu une chaudière à gaz mixte (propane puis gaz naturel) avec un circuit chauffage et un circuit E.C.S.

### Expérimentation Mesures - Contrôles

Cette opération qui se présente, à ce jour, comme le plus important chantier de chauffage solaire en Europe, constituera également une base d'essais et d'expérimentations. Elle sera équipée des moyens de mesure adéquats sur les installations ainsi que

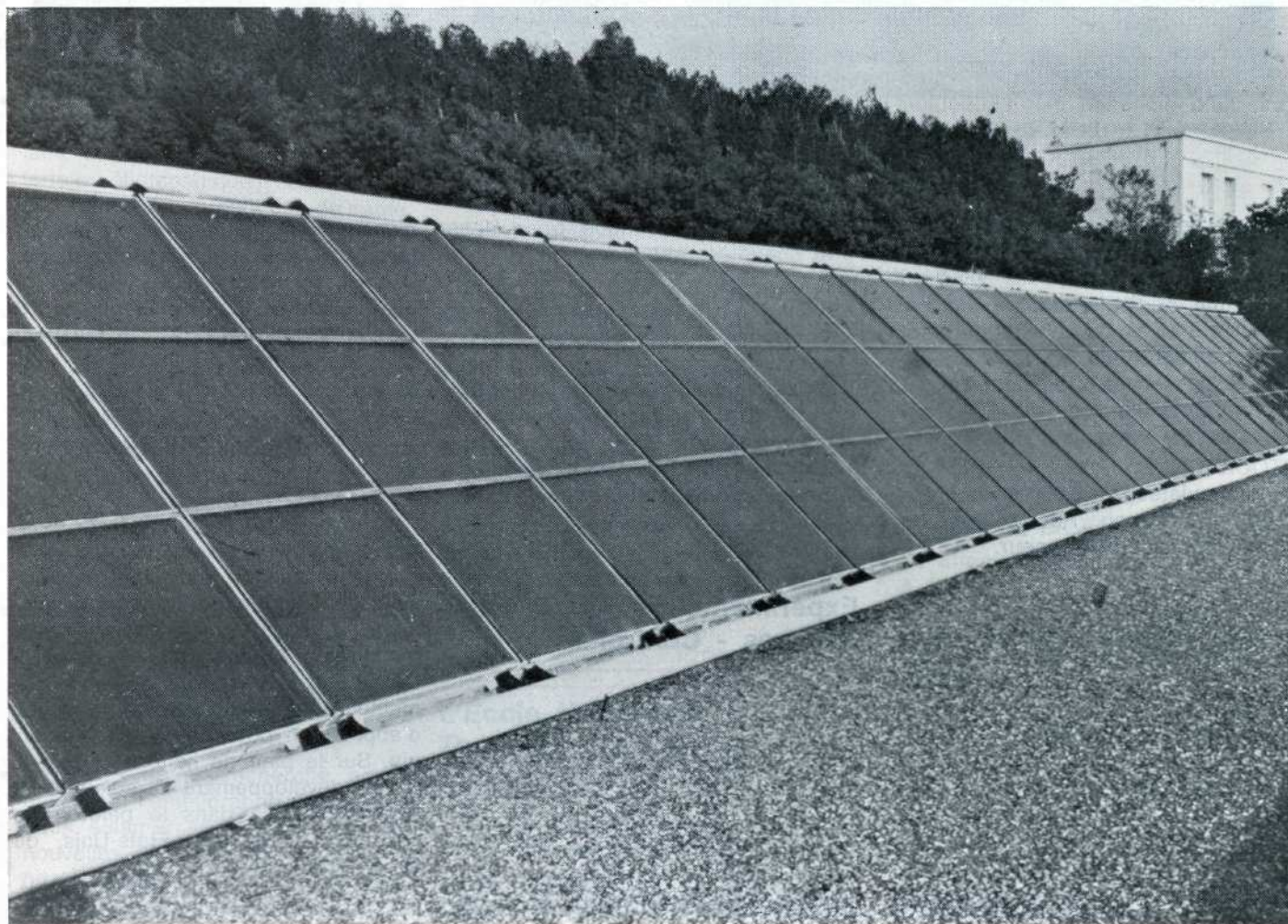
d'une station météorologique permettant aux élèves et chercheurs de l'Ecole de tester, en collaboration avec le Costic, Gaz de France et Elf, les performances des installations dans différentes conditions de fonctionnement ainsi que les matériels de divers constructeurs (vitres spéciaux, couplage solaire, pompes de chaleur...).

Avec d'autres installations de centrales achevées ou en cours d'étude ou de réalisation (hospices en Provence et Languedoc-Roussillon, logements dans la Drôme, casernements militaires, stations de montagne...), l'opération d'Alès contribuera à une meilleure appréciation du champ d'application potentiel de cette énergie. Sur le plan de l'effort international de développement du solaire, elle situe la France dans le peloton de tête, aux côtés des Etats-Unis, du Japon et d'Israël.



## exemple : bâtiments de 20 chambres

Mois	Besoins thermiques			Apport solaire utile (th/54 m <sup>2</sup> capteurs)	Economie (th)	
	Degrés × jour	Chauffage (th)	Eau chaude (th)			Total (th)
J	394	5 516	900	6 416	1 512	1 512
F	323	4 522	900	5 422	2 052	2 052
M	270	3 780	900	4 680	2 538	2 538
A	174	2 432	900	3 336	3 078	3 078
M	60	840	900	1 740	3 402	1 740
J	—	—	900	900	3 834	900
Jt	—	—	900	900	4 428	900
A	—	—	900	900	3 780	900
S	—	—	900	900	3 078	900
O	117	1 638	900	2 538	2 376	2 376
N	259	3 626	900	4 526	1 728	1 728
D	383	5 362	900	6 262	1 350	1 350
		<u>27 720 th</u>	<u>10 800 th</u>	<u>38 520 th</u>	<u>33 156 th</u>	<u>19 974 th</u>



# production d'eau chaude par énergie solaire sur l'aéroport de Nice Côte d'Azur

par A. COMBEAU

*Ingénieur des Ponts et Chaussées,  
Chef de l'Arrondissement des bases aériennes,  
Direction départementale de l'Équipement des Alpes Maritimes.*

Les installations terminales de l'Aéroport de NICE - CÔTE D'AZUR, en particulier l'Aérogare sont des consommatrices importantes d'énergie, notamment pour la fourniture d'eau chaude sanitaire.

Le système existant sur l'Aéroport pour la production des fluides chauds est du type « centralisé », c'est-à-dire qu'une chaufferie principale (quatre chaudières de 1250 th/h chacune) dessert un groupe de bâtiments par un réseau unique raccordé à des échangeurs sous stations situés dans les bâtiments mêmes, que ce soit pour le chauffage ou la production d'eau chaude.

Si le système donne satisfaction pendant la période hivernale de chauffe, durant laquelle les rendements des chaudières sont satisfaisants, il n'en est plus de même l'été quand on est obligé de maintenir en fonctionnement l'ensemble du réseau seulement pour la production d'eau chaude, les chaudières ont alors des rendements très faibles (0,15 à 0,20).

Le but de l'installation de production d'eau chaude par énergie solaire est donc d'assurer à moindre coût, une alimentation correcte de l'ensemble des points de puisage d'eau chaude pour les besoins :

- de l'aérogare (consommation annuelle 2 100 m<sup>3</sup>), actuellement desservie par une première sous-station ;
- d'un centre médico-social (consommation annuelle 850 m<sup>3</sup>), desservi par une deuxième sous-station.

Cette production se substituera

complètement de mi-avril à mi-octobre à l'alimentation actuelle par la chaufferie centrale, et éventuellement l'hiver fournira des calories d'appoint au réseau primaire.

## Description

L'installation comprendra :

a) *le captage :*

Les installations seront constituées par 42 panneaux solaires (agissant par l'effet de serre simple) et présentant les caractéristiques suivantes :

• surface	3 m <sup>2</sup>
• réceptivité	0,92
• émissivité	0,78
• pression service	7 B/cm <sup>2</sup>
• pertes thermiques	3,6 W/m <sup>2</sup> /°C
• poids	36 Kg/m <sup>2</sup>

Coffre polyster anti-corrosion, l'ensemble étant couvert par une garantie décennale.

Installés sur des supports appropriés pour obtenir un angle de 40° orientation Sud, ces capteurs seront placés dans leur totalité sur les terrasses proches de la chaufferie actuelle (afin de réduire le raccordement au réseau primaire de l'installation).

b) *les liaisons hydrauliques :*

L'ensemble des appareils est monté en parallèle. Il est raccordé au réseau de canalisations calorifugées qui assure la liaison capteurs/ballon-tampon, existant installé en chaufferie (capacité 10 m<sup>3</sup>).

La circulation du fluide primaire entre les capteurs et le ballon est assurée par une pompe. Les circulations du fluide primaire entre le ballon et les sous-stations aérogare et bloc médico-social utilisent le réseau existant. Le circuit primaire ayant un volume de 100 m<sup>3</sup> environ, on disposera ainsi d'une inertie suffisante pour faire face aux périodes d'été sans insolation, sans avoir besoin des secours des chaudières.

c) *la régulation :*

Sur les circuits capteurs/tampon, elle comprend un système de vannes mélangeuses 3 voies motorisées à fonctionnement modulant différentiel, à action proportionnelle, permettant d'utiliser l'énergie solaire en priorité, et interdisant toutes pertes thermiques provenant des chaudières.

Sur le circuit tampon/sous-stations, la régulation est assurée par un système de vannes 2 voies motorisées, à fonctionnement proportionnel à modulation de débit, agissant en fonction des besoins d'eau chaude sanitaire.

## Coût et bilan

Le coût des installations (comprenant : fournitures et mise en place des matériels) s'élèvera à 200 000 F, financé : 50 % par le Concessionnaire de l'Aéroport, la Chambre de Commerce et d'Industrie de Nice et des Alpes-Maritimes, et 50 % par la Délégation aux Énergies Nouvelles. Le coût d'une installation « classique » serait revenu à 100 000 F environ.

Un rapide bilan économique a permis de montrer l'intérêt d'une telle modification. L'installation actuelle fonctionne pendant la saison « chaude » avec un rendement proche de 20 % (y compris pertes en ligne et bouclage). La consommation pendant l'été s'élève à 1 650 m<sup>3</sup>, ce qui représente une puissance calorifique de 74 250 th pour élever la température de l'eau de 45° soit compte tenu du rendement de l'installation 370 000 th. Un kilogramme de fuel donnant 10 500 K. cal., la consommation de fuel est de l'ordre de 40 m<sup>3</sup> par saison, soit un coût d'exploitation de : 28 000 F.

A cela, il faut ajouter les frais de surveillance et d'entretien de la chaufferie, ce qui porte les dépenses actuelles à 40 000 F. Elles seront en totalité supprimées dans le cas de l'utilisation de l'énergie solaire ; ainsi en moins de 5 ans, l'installation sera-t-elle amortie.

## Conclusions

Outre l'intérêt immédiat que présente pour l'utilisateur l'installation d'un tel système de production d'énergie, puisqu'il conduit à une réduction très sensible de ses frais d'exploitation, on peut estimer que l'intérêt essentiel de cette réalisation réside dans le fait qu'elle est l'une des toutes premières réalisées sur des bâtiments publics du Var et des Alpes-Maritimes, départements disposant d'un ensoleillement très important. De plus, sur un aéroport sont réunies des conditions particulièrement favorables pour y réussir des programmes variés à base d'énergie solaire, d'une part, en raison de son étendue et, d'autre part, en raison des réalisations en matière de bâtiments qui y sont faites continuellement.

Cette première opération permettra donc de tester ce nouveau mode d'énergie, pour ultérieurement l'étendre à d'autres bâtiments, soit toujours pour la fourniture d'eau chaude sanitaire, soit même pour le chauffage, soit aussi en l'associant à une pompe à chaleur, pour la fourniture d'énergie en partant directement de l'eau pompée dans les nappes souterraines situées sous l'Aéroport.



**Plate-formes & réservoirs marins en béton**

IMMEUBLE IENA  
12, rue Le Corbusier - 94150 RUNGIS  
Télex: 200939 F PLATF - Tel: 687.23.32

# production solaire d'électricité

par M. PHARABOD  
et M. POUGET-ABADIE

*Ingénieurs à la division « Technique des Energies nouvelles »,  
Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France.*

*« Dans un monde dont l'humanité rencontre pour la première fois les limites, à une époque où les hommes prennent brutalement conscience de vivre sur le capital de la planète au lieu d'en exploiter sagement les revenus, il importe de fixer son choix sur une forme d'énergie renouvelable. Au lieu d'exploiter l'énergie solaire stockée en quantité limitée sous forme de charbon ou de pétrole, après avoir tiré parti de cette forme indirecte d'énergie solaire que constitue l'hydroélectricité, le jour approche où, hors l'énergie nucléaire, les hommes devront avoir appris à utiliser directement le flux d'énergie solaire que reçoit notre globe. Il n'est pas trop tôt pour s'y mettre sérieusement ».*

Marcel Boiteux — Fév. 75 (R.G.N.)

L'énergie solaire est très abondante et renouvelable, mais elle est dispersée et variable. Elle a été utilisée très largement de façon indirecte au cours de l'ère pré-industrielle (combustion du bois, moulin à eau...). A l'ère industrielle, les problèmes de concentration et de stockage ont entravé l'utilisation directe de cette forme d'énergie, qui s'est trouvée par ailleurs en concurrence avec des énergies fossiles plus facilement accessibles ou sur lesquelles un effort d'étude gigantesque a pu être réalisé en raison des possibilités d'application militaire.

Au moment où bon nombre de pays font l'inventaire de leurs ressources énergétiques face à l'appauvrissement des réserves en énergies non renouvelables (charbon, pétrole, gaz, uranium) et aux problèmes de pollution et de sécurité que pose leur exploitation intensive, l'utilisation directe du rayonnement solaire apparaît particulièrement prometteuse pour l'ère post-industrielle.

---

## Conversion thermodynamique de l'énergie solaire

---

A l'initiative du C.N.R.S. et en collaboration avec lui, E.D.F. a entrepris en 1975 l'étude d'une centrale solaire utilisant la conversion thermodynamique du rayonnement. Le projet actuel a pour but la réalisation dans le Sud de la France, d'une centrale expérimentale de puissance moyenne (quelques MW) du type centrale à tour. Une telle centrale se compose d'un champ d'héliostats (miroirs de poursuite renvoyant l'image du soleil en un point fixe), une chaudière placée au sommet d'une tour, et un cycle thermodynamique dont le fluide entraîne un groupe turbo-alternateur.

Sur le plan national, cette installation ne vise pas la compétitivité économique, dès la première réalisation, avec les autres sources d'énergie ; elle constitue un premier pas permettant d'expérimenter les consti-

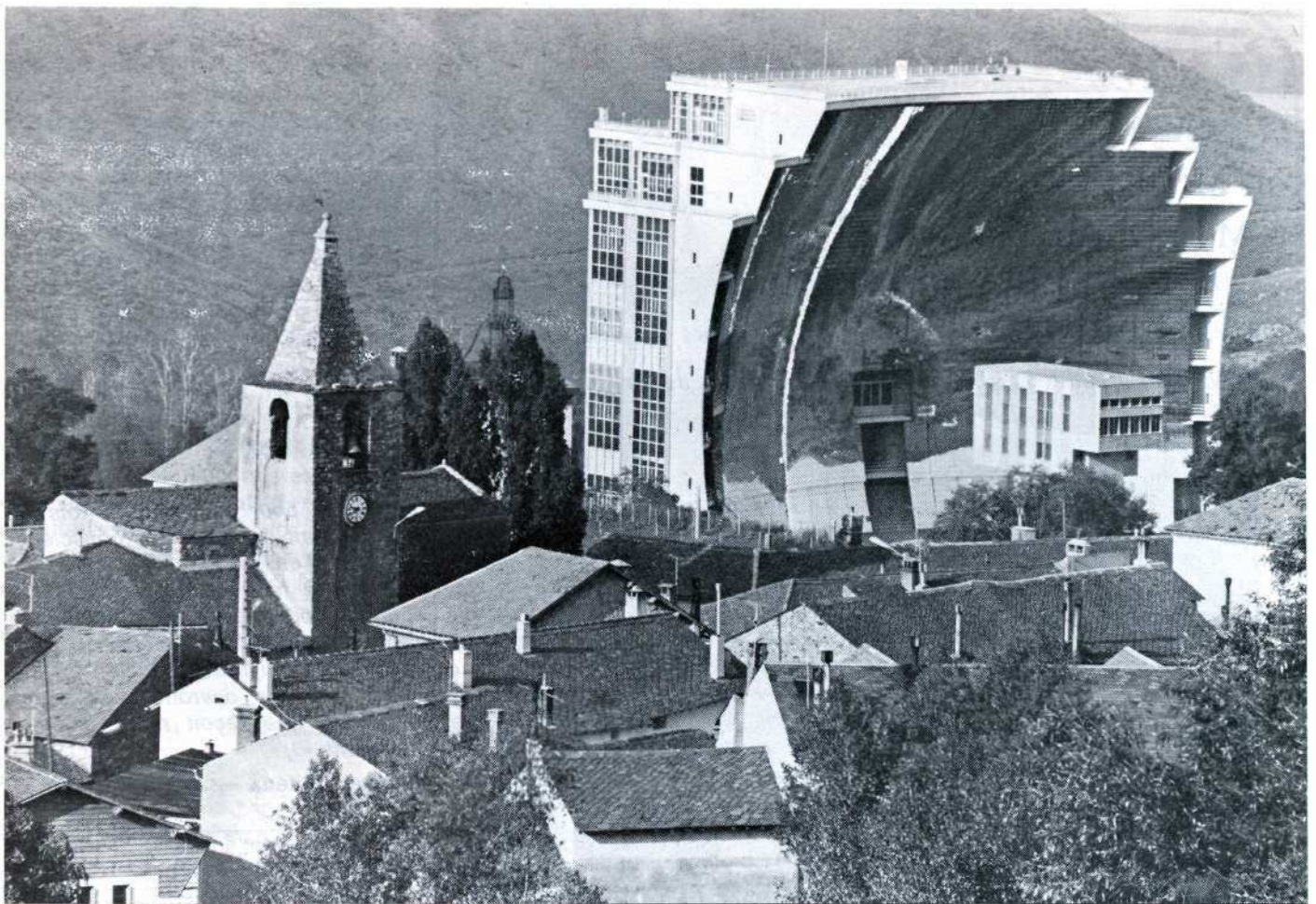
tuants d'une centrale de cette filière. Cette centrale doit en même temps servir de démonstration pour les pays mieux ensoleillés que la France pour lesquels les centrales solaires peuvent être dès maintenant économiquement intéressantes. Une maquette de démonstration de faible puissance sera installée cette année au four solaire du C.N.R.S. à ODEILLO pour débiter les premiers kWh solaires de réseau.

---

## Concept de la centrale thermique à tour

---

Pour la production de très faibles puissances (quelques dizaines de Kilowatts), c'est le cas des petites centrales de pompage, l'un des principaux impératifs est l'absence de maintenance. On consent volontiers pour le satisfaire, quelques sacrifices



Odeillo. Four solaire.

(Photo Rapho)

sur le coût des capteurs et sur le rendement du cycle. Ce concept conduit à des solutions utilisant des capteurs plans ou des bassins solaires et des cycles thermodynamiques à basse température.

Pour la production des moyennes puissances (quelques centaines de Kilowatts), un faible rendement pèserait trop lourd sur le prix des collecteurs et il devient nécessaire de faire appel aux techniques de concentration optique pour chauffer le fluide de travail (typiquement 300° C). De telles installations doivent cependant garder une technologie simple ne faisant pas appel à un personnel hautement qualifié pour en assurer l'exploitation.

Pour la production de puissances plus élevées (quelques Megawatts, ou plus), l'impératif essentiel est de réaliser une conversion thermodynamique avec un rendement élevé afin de réduire au minimum le poste le plus lourd de l'investissement, à sa-

voir celui du champ de miroirs. Un rendement élevé suppose une température de cycle élevée et par conséquent une forte concentration optique du rayonnement sur la chaudière. La technologie d'aujourd'hui permet de choisir des cycles de conversion fonctionnant aux alentours de 500° C, ce qui suppose une concentration optique d'environ 400°.

### Le système optique

Chaque miroir du champ est orienté à chaque instant de façon à obtenir une superposition de toutes les images solaires sur une même chaudière portée par une tour. La conception de l'héliostat pose donc en premier lieu le problème du choix de la surface réfléchissante qui doit avoir un bon coefficient de réflexion ( $> 0,8$ ) et le garder. A l'heure actuelle le verre argenté sur la face arrière constitue

la seule solution éprouvée. Des recherches sont engagées en directions des films plastiques, des métaux, des miroirs composites. La réalisation à bas prix d'une structure support indéformable et d'un dispositif d'entraînement à vitesse lente de bonne précision (de l'ordre du millième de radian) constitue le problème clé de la conception de l'héliostat. Plusieurs solutions font l'objet de réalisations prototypes qui vont être essayées d'ici la fin de l'année.

La taille de l'héliostat est déterminée par le compromis entre le coût des mécanismes de commande et le coût de la structure : plus les héliostats sont grands, plus les efforts dus au vent sont importants et la mécanique coûteuse, mais les héliostats sont en nombre réduit pour une même surface globale de réception. Pour une installation de quelques MW la taille de l'héliostat sera déterminée — en fonction de sa conception — dans une plage allant de 30 à 50 m<sup>2</sup>.



L'arrangement des miroirs dans le champ pose des problèmes délicats d'ombres portées et d'interception des rayons réfléchis. L'arrangement optimal suivant un critère de maximum d'énergie annuelle reçue est déterminé au moyen d'un ordinateur. Sous nos latitudes, le champ est situé au Nord de la tour qui porte la chaudière, dans un secteur circulaire centré au pied de la tour.

La commande des héliostats (ordre de grandeur : un millier) pour assurer la poursuite du soleil, peut faire appel à deux conceptions différentes des asservissements. On peut réaliser une commande individuelle en boucle fermée au moyen d'une lunette visant la chaudière et sur laquelle est asservi le rayon réfléchi ; on peut également songer à utiliser une commande centralisée sur ordinateur à partir de coordonnées calculées, ou mesurées, du soleil. Ces conceptions font actuellement l'objet d'études détaillées de façon à en réduire les inconvénients respectifs (lunette difficile à positionner, dérive d'une commande en boucle ouverte).

## Système thermique

### Chaudière solaire

Le rôle de la chaudière est d'absorber le flux solaire concentré par le champ d'héliostats pour le transformer en énergie calorifique recueillie par le fluide circulant dans les parois de la chaudière. La conception de la chaudière nécessite l'étude des points suivants :

- caractéristiques du rayonnement incident, répartition et variation du flux,
- conversion rayonnement - énergie calorifique sur la surface des tubes soumis au rayonnement, pertes de la chaudière,
- extraction de la chaleur produite par un fluide caloporteur (qui peut être le fluide du cycle thermodynamique).

La conversion du rayonnement incident en énergie calorifique s'effectue à la surface des tubes soumis au

rayonnement. Le rendement de cette version dépend :

- de la part d'énergie non reçue par les tubes (bords de la tache solaire),
- du rayonnement visible réfléchi,
- du rayonnement infrarouge émis par les tubes portés à haute température,
- des pertes par convection.

La recherche d'un bon rendement de conversion nécessite de choisir un matériau présentant un coefficient d'absorption  $\alpha$  élevé et un rapport  $\frac{\alpha}{\epsilon}$  (absorption sur émission) aussi grand que possible et d'agencer la chaudière de façon à en réduire au maximum les pertes par rayonnement. On réduira ces pertes en utilisant une chaudière en forme de cavité, si le diamètre de la tache solaire le permet, et en disposant les surfaces de chauffe de façon à réduire la température apparente de rayonnement de l'ensemble de la cavité. Un traitement de surface permet d'améliorer l'absorption des matériaux utilisés.

Deux conceptions sont possibles pour le fluide caloporteur : utiliser le fluide de travail du cycle thermodynamique ou un fluide de transfert intermédiaire (de préférence celui servant au stockage thermique).

Dans le premier cas la chaudière à eau-vapeur saturée permet de fixer les caractéristiques de la vapeur produite en raison du palier de vaporisation. Malheureusement une telle solution limite le rendement du cycle thermodynamique par les faibles caractéristiques de la vapeur produite. L'utilisation d'un surchauffeur à rayonnement permet de remonter la température de vapeur dans la gamme des 500° C, mais cette solution pose des problèmes délicats de conduite lors de variations de charge, le flux sur le surchauffeur devant être limité.

L'utilisation d'un fluide de transfert différent du fluide de travail permet une conception simplifiée de la chaudière qui est alors monophasique. Il faut toutefois noter que s'il s'agit du fluide de stockage, celui-ci peut être amené à travailler à la limite de ses possibilités thermiques et il faut une bonne connaissance des flux éner-

gétiques locaux dans la chaudière pour garantir leur transmission sans dégradation du fluide ou des tubes.

### Accumulation thermique

La fourniture continue d'électricité impose une accumulation d'énergie propre à réguler les variations de charge et de températures entraînées par le caractère intermittent du rayonnement solaire (alternance des jours et des nuits, passages nuageux).

Cette accumulation d'énergie est envisagée sous forme thermique, puisque ni le rayonnement ni l'électricité produite ne peuvent être accumulés.

La capacité de stockage est déterminée en fonction des données météorologiques et d'une analyse précise des besoins, en tenant compte de l'existence ou de l'absence de réseau et d'autres moyens de production.

En France une centrale électrosolaire aurait une production se rapprochant de l'alternance des jours et des nuits, avec un stockage nébulaire pour limiter les contraintes thermiques sur le matériel. Un stockage permettant de plus de prolonger la production en fin de journée et de l'anticiper le matin serait très valorisant.

Une répartition non uniforme de l'énergie sur 24 heures entraîne un stockage important mais les machines, de puissance moyenne, peuvent être utilisées de façon continue. Nous voyons donc qu'il y a un optimum à trouver concernant le mode de production en tenant compte du contexte énergétique local, des besoins, et des investissements entraînés. Il ne semble toutefois pas possible actuellement d'espérer une accumulation thermique de longue durée permettant d'assurer la production en cas de temps couvert pendant plusieurs jours, ni à plus forte raison d'effectuer un report saisonnier de l'énergie reçue en été vers les périodes de fortes demande d'hiver.

Les solutions techniques au problème du stockage font l'objet de recherches et d'essais dans de nombreuses directions.

- utilisation de la chaleur sensible de fluides thermiques organiques,

- utilisation de la chaleur sensible de mélanges de sels fondus,
- utilisation de la chaleur latente de fusion de certains produits (soude, sels),
- utilisation de matériaux solides.

Des solutions existent dans le domaine des 300° C, l'une d'elle sera essayée à l'automne 1976 pour la petite centrale de démonstration d'Odeillo. Dans le domaine 500° C, pour lequel on gagne en rendement du cycle thermodynamique, l'utilisation de la chaleur sensible de sels fondus semble la plus proche.

Le choix du cycle thermodynamique est très lié au problème du stockage dont la solution limite la température de source chaude. Un autre aspect important du cycle réside dans les limitations imposées par la turbine — dont le rendement interne est médiocre pour de faibles puissances — et par l'utilisation de l'air comme source froide.

### VOYAGE D'ETUDE EN AFRIQUE DU SUD ET EN RHODESIE

J'attire à nouveau votre attention sur le voyage d'étude que nous organisons du 17 OCTOBRE au 2 NOVEMBRE 1976 en AFRIQUE DU SUD et en RHODESIE.

INSCRIVEZ-VOUS DE TOUTE URGENCE pour nous permettre de faire toutes les réservations.

Le programme détaillé vous sera adressé sur simple demande à l'Association et, si vous le désirez, des rencontres pourront être organisées avec des personnalités locales.

Appelez-nous, nous vous donnerons toutes précisions complémentaires que vous souhaiteriez avoir.

## AMICALE D'ENTRAIDE AUX ORPHELINS DES INGÉNIEURS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES VEUVES

*Compte rendu de l'Assemblée  
générale ordinaire  
du 17 mars 1976*

*L'Assemblée générale ordinaire de l'Amicale d'Entr'aide aux Orphelins des Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines, convoquée par lettre-circulaire du 24 février 1976 s'est réunie le 17 mars 1976 à l'Aéroport de Paris (salle des Commissions).*

*345 membres étaient présents ou représentés.*

*Le Secrétaire a donné lecture du rapport moral et des comptes de l'exercice.*

### I. — RAPPORT MORAL

*L'Amicale d'Entr'Aide groupe présentement 579 adhérents (447 adhérents complets et 132 par-*

### II. — RAPPORT DU TRESORIER

	Francs
A — RECETTES	
Cotisations perçues au cours de l'exercice 1975 ...	25.599,50
B — DEPENSES	
Frais d'administration .....	2.855,00
Secours distribués .....	265.400,00*
268.255,00	
C — EXCEDENTS DES DEPENSES DE L'EXERCICE	
B — A = .....	12.655,50
D — RESERVE AU 31-12-1974	47.470,18
E — RESERVE AU 31-12-1975	
D — C = .....	34.814,68

\* dont 5.000 F versés à 2 familles comme complément de secours au titre de 1974.

*Il convient de signaler qu'en février 1975 a été payé :*

*— 500 francs de provision pour frais d'administration, ce qui ramène en mars 1976 la réserve à 34.314,68 francs.*

*tiels, contre 455 complets et 124 partiels en 1975).*

*Le montant total des secours distribués pour l'année 1975 s'est élevé à 260.400 F. contre 218.000 francs\* en 1974 et 192.500 F en 1973. 13 familles comportant 25 enfants à charge ont été secourues.*

*Les secours se sont échelonnés de 3.000 à 42.000 francs.*

*Compte tenu de l'augmentation importante du coût de la vie en 1975, le Comité a décidé de relever les cotisations 1976 aux taux suivants :*

— Cotisation de solidarité .....	190 F
-- Cotisation familiale :	
• pour 1 enfant .....	450 F
• pour 2 enfants .....	520 F
• pour 3 enfants .....	590 F
• pour 4 enfants .....	660 F
• pour 5 enfants et plus	730 F

*blée générale et le rapport du Trésorier sont approuvés à l'unanimité.*

J. BACHELEZ.  
Le Président,

### III. — APPROBATION

*Le compte rendu de l'Assem-*

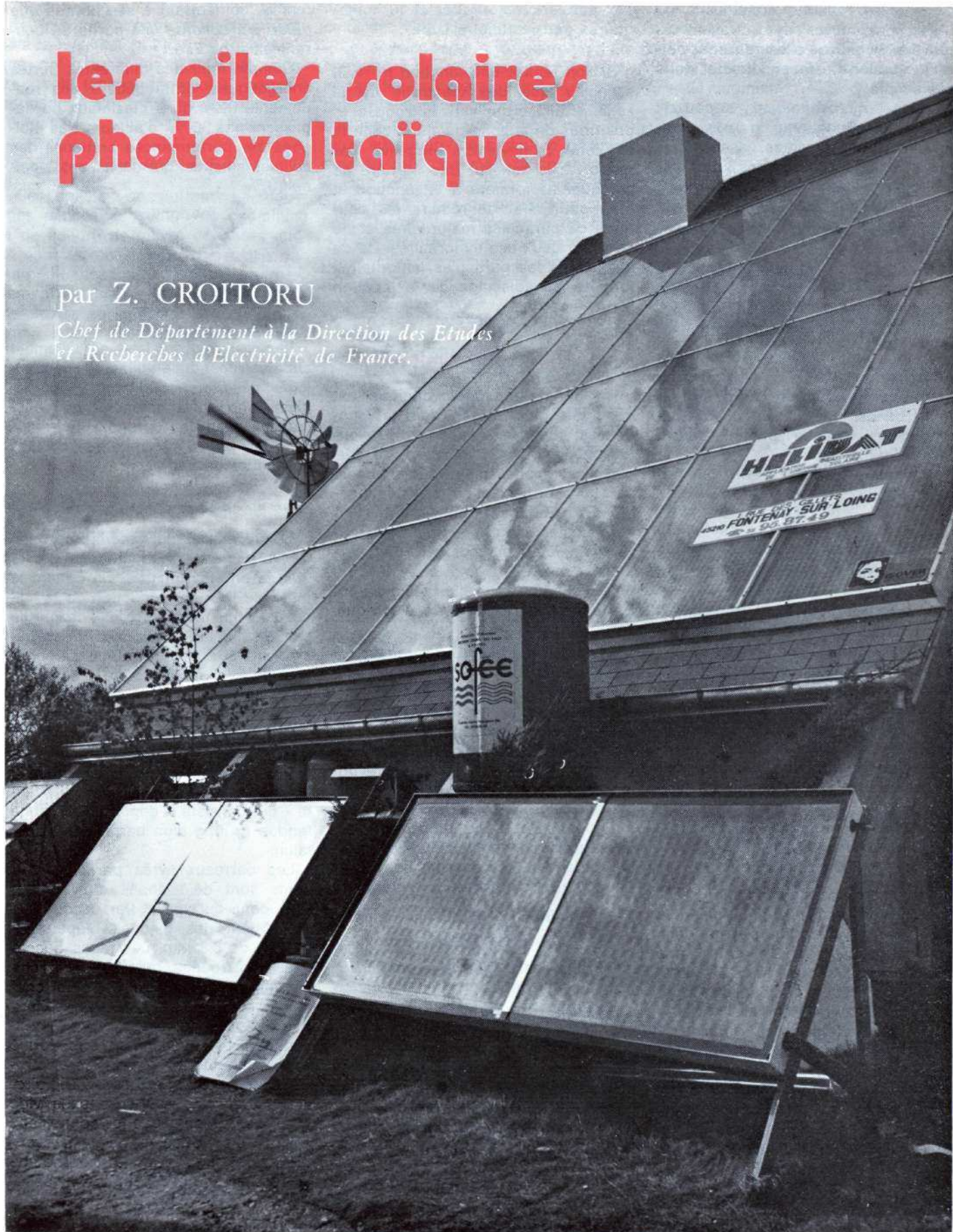
Le Secrétaire,  
F. AILLERET.

\* dont 5.000 F ont été versés en 1975.

# les piles solaires photovoltaïques

par Z. CROITORU

*Chef de Département à la Direction des Etudes  
et Recherches d'Electricité de France.*



Maison chauffée par piles solaires.

(Photo Rapho)

Les piles solaires constituent un moyen particulièrement attrayant de conversion, puisqu'elles réalisent cette conversion de façon directe, donc très simple.

L'effet photovoltaïque, découvert par Antoine Becquerel en 1839, comporte deux mécanismes essentiels :

- la production de charges libres par photoionisation ;
- la séparation des charges, à la jonction d'une diode p - n.

## Photoionisation d'un semi-conducteur

Un rayonnement de fréquence  $\nu = c/\lambda$  est composé de photons d'énergie individuelle  $E = h\nu$ . Si cette énergie est supérieure à la largeur de la bande interdite  $E_g$  d'un semi-conducteur, chaque photon pourra ioniser un atome.

La relation  $E < E_g$  s'écrit numériquement :

$$\lambda \leq \frac{1,24}{E_g}$$

$\lambda$  étant exprimé en micromètre et  $E_g$  en volt.

On voit que pour  $E_g = 1$  volt, valeur typique, tout le rayonnement visible (et a fortiori ultraviolet) et une partie de l'infrarouge peuvent ioniser un semi-conducteur.

L'excès d'énergie  $E - E_g$  est emporté par l'électron libéré et finalement transformé en chaleur. De même, toute l'énergie des photons pour lesquels  $E < E_g$  est dissipée en chaleur.

## Jonctions p-n

On sait, par dopage (addition d'impuretés convenables), déterminer le signe des porteurs de charge dans un semi-conducteur. On obtient des porteurs positifs ou « trous » d'électrons par addition d'impuretés appelées « accepteurs » et des porteurs négatifs par addition de « donneurs » d'électrons. Ces impuretés déterminent en fait le signe du porteur « majoritaire ». Il y a toujours, dans un semi-conducteur, cohabitation de porteurs majoritaire et minoritaire qui sont d'ailleurs en équilibre thermodynamique. Plus exactement, il y a simultanément et de façon permanente création et recombinaison des porteurs des deux signes. Des valeurs typiques des concentrations sont

$10^{17}$  porteurs majoritaires et  $10^5$  minoritaires par centimètre cube.

Si l'on réalise une jonction p - n, il est clair que des électrons de la zone n diffuseront vers la zone p et des trous de la zone p vers la zone n. La zone p deviendra négative par rapport à la zone n. Une barrière de potentiel se formera à la jonction et aura pour effet de réduire les courants de particules majoritaires et de favoriser ceux des minoritaires. De ce fait, toutes les particules minoritaires formées au voisinage de la jonction la traverseront.

## Générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque est donc une diode p - n dont la jonction est soumise à l'action du rayonnement lumineux. L'excédent de corpuscules mobiles majoritaires formés par la photoionisation est négligeable. En revanche, la concentration en corpuscules minoritaires peut se trouver complètement modifiée. Ces particules traversent toute la barrière de potentiel et ce sont elles qui assurent la génération de l'énergie électrique.

Il convient d'abord de remarquer que la conversion ainsi opérée n'est pas limitée par le rendement de Carnot, puisqu'elle n'implique pas un cycle thermodynamique. En effet, le rendement de la photoionisation peut être voisin de l'unité, pour un rayonnement monochromatique dont l'énergie des photons  $h\nu$  est peu supérieure à  $E_g$ . Mais, pour un rayonnement à large spectre comme celui du soleil, le rendement est sensiblement inférieur, pour les raisons suivantes :

- les photons d'énergie inférieure à  $E_g$  ne sont pas convertis,
- les photons d'énergie supérieure à  $E_g$  ne convertissent que la fraction  $E_g$  en énergie électrique, l'excédent étant perdu.

Il résulte de ce qui précède qu'à chaque type de rayonnement, correspond une diode optimale, caractérisée notamment par une valeur optimale de la bande interdite  $E_g$ .

Une autre cause de réduction du rendement vient de ce que le convertisseur photovoltaïque peut être schématisé en première approximation comme une source de courant cons-

tant  $I_s$ , comportant à ses bornes une diode qui absorbe une partie du courant ainsi généré.

Compte tenu des différentes pertes énergétiques, on aboutit à des rendements théoriques maximaux ne dépassant pas 30 %, d'ailleurs très éloignés des performances pratiques des cellules solaires, qui dépassent à peine 10 %.

## Technologie et caractéristiques des piles solaires

Les cellules solaires actuellement les plus répandues utilisent la technologie des semi-conducteurs au silicium. Une autre catégorie de cellules, qui pourrait reprendre le relais, à moyen terme, est celle des cellules au sulfure de cadmium.

### Piles au silicium

Le silicium est le matériau de base de la plupart des semi-conducteurs utilisés en électronique. On obtient le matériau brut par réduction de la silice dans un four à arc. On le purifie par distillation fractionnée de tétrachlorure de silicium obtenu par attaque du silicium à l'acide chlorhydrique. Le chlorure est ensuite réduit par l'hydrogène, à 1 150 °C. On obtient ainsi du silicium par polycristallin, que l'on rend monocristallin par tirage vertical d'un bain de silicium fondu ou par le procédé de « zone flottante » qui consiste à déplacer une zone fondue le long d'un barreau polycristallin.

Les barreaux livrés par les fabricants sont déjà dopés d'un accepteur, donc du type p. Par découpage, on obtient des plaques d'épaisseur voisine de 0,3 mm. Les faces découpées sont rodées, puis nettoyées chimiquement. Enfin, on dope la couche n par de l'anhydride phosphorique dans un four à 850 °C. Après élimination éventuelle du verre formé par l'anhydride, on réalise les électrodes, grille côté n, qui reçoit l'éclairage, électrode évaporée sous vide côté p. Enfin, on soude les connexions sur les électrodes, on dépose éventuellement une couche externe de protection et on assemble les cellules sur des panneaux.

Une cellule solaire au silicium de

bonne qualité donne, à la température ambiante et sous le rayonnement solaire maximal ( $1,4 \text{ kW/m}^2$ ), une densité de courant de  $335 \text{ A/m}^2$  sous  $0,42 \text{ volt}$  (charge optimale), correspondant à un rendement voisin de  $10 \%$ .

#### Piles au sulfure de cadmium

Ces cellules comportent des couches minces de sulfure de cadmium et de sulfure de cuivre déposées sur un substrat constitué d'une feuille de matériau plastique métallisé. Le rendement maximal de ces cellules semble devoir se limiter vers  $7 \%$ . Leur grand intérêt résulte des possibilités de fabrication, à très grande échelle, de façon très économique.

### Intérêt économique des piles solaires terrestres

#### Coût des cellules solaires

Le marché des cellules solaires a consisté presque uniquement en générateurs installés à bord des satellites. Dans ces conditions, une fabrication artisanale a eu pour conséquence l'établissement de prix où le coût des recherches représente la majeure partie, et qui se situent à l'heure actuelle autour de  $100 \text{ F/W}$ ,

donc à un niveau 100 fois supérieur à celui des centrales thermiques.

Le développement du marché doit conduire à des baisses de coût. Dans le cas des cellules au silicium, la matière première risque de limiter ces baisses. Au contraire, le coût des cellules au sulfure de cadmium dépend peu du prix des matières premières et des baisses notables peuvent être attendues en cas de production massive. Des limites inférieures de coût ont été prévues dans diverses études prospectives, qui se situent entre  $0,20$  et  $1 \text{ F/W}$ .

#### Coût de l'énergie électrique

On peut s'attendre, dans les prochaines années, à un abaissement de  $50 \%$  du prix des piles solaires au silicium, qui sera alors voisin de  $50 \text{ F/W}$ . En ne prenant en compte que ce coût et un taux d'amortissement de  $10 \%$ , on est conduit au coût voisin du kWh :

On voit que, pour que cette technique puisse devenir rentable à l'heure actuelle, en France, une condition nécessaire (mais non suffisante) se-

rait une réduction du coût des cellules à un niveau environ  $50 \%$  plus bas, qui ne peut être attendu que de cellules analogues à celles au sulfure de cadmium.

Pour ce qui est de la France, les fluctuations saisonnières constitueront un grave handicap, surtout en Région Parisienne, mais aussi, dans une moindre mesure, dans le Midi.

La situation est certainement plus favorable dans l'exemple d'une installation au Sahara, où, en plus d'une régularité acceptable, le coût du kWh solaire est plus bas alors que celui produit et distribué par des moyens classiques est beaucoup plus élevé qu'en France.

Des exemples isolés où des situations analogues pourraient se trouver, en France, ne sont pas à exclure : maisons isolées ou stations de mesure ou de télécommunications situées en haute montagne, etc... C'est donc par de telles installations qu'il y aura lieu de commencer des expérimentations lorsque l'évolution du coût des cellules vers des prix acceptables se confirmera. ■

Région	Ensoleillement	Coût kWh
Région Parisienne .....	$1\ 150 \text{ kWh/m}^2 \text{ an}$	$4,3 \text{ F/kWh}$
Région méditerranéenne .	$1\ 700 \text{ kWh/m}^2 \text{ an}$	$2,9 \text{ F/kWh}$
Sahara .....	$2\ 200 \text{ kWh/m}^2 \text{ an}$	$2,3 \text{ F/kWh}$

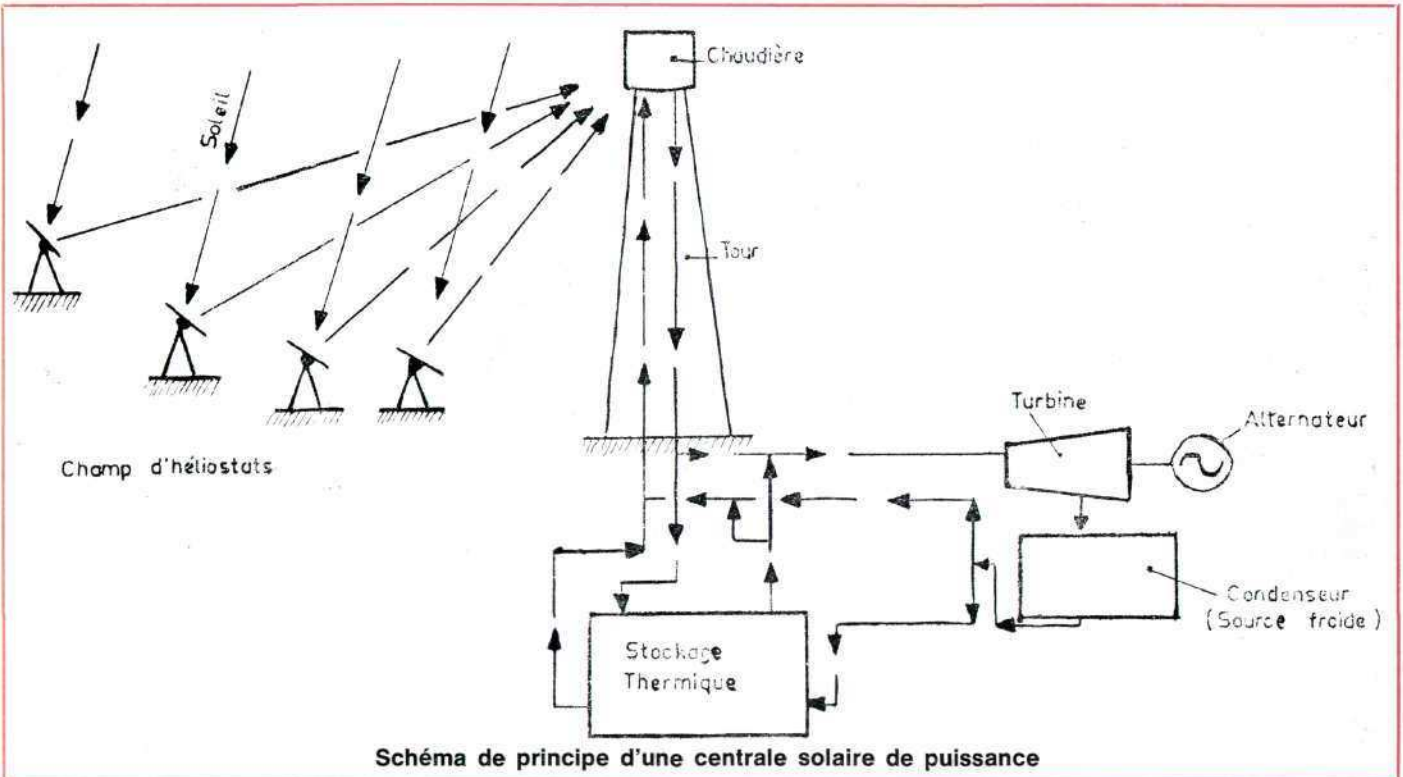


Schéma de principe d'une centrale solaire de puissance

# qualité de la vie

---

## réduire le bruit et la pollution aux abords des voies de circulation

par Claude LAMURE,

I.C.P.C.

*Chargé du Centre d'évaluation et de Recherche  
des Nuisances de l'I.R.T.*

Construction d'un écran de 9 m de hauteur à l'Hay-les-Roses.



L'article ci-dessous traite d'un sujet qui intéresse au plus haut point chacun d'entre nous.

Sommes-nous bien sûrs personnellement de ne pas voir notre quiétude agressée dans un avenir plus ou moins proche ? Saurons-nous alors combattre efficacement le bruit, la pollution qui dépassent déjà parfois les limites du supportable ?

Qui est responsable ? La collectivité qui décide des infrastructures pour répondre à des besoins cruciaux ? L'industrie qui met sur le marché les engins rapides et partant polluants qu'on lui demande ? Le Français moyen qui veut habiter au vers loin de son lieu de travail et ne pas trop perdre de temps dans les allées et venues ? L'Ingénieur des Ponts qui construit ce qu'on lui commande ?

Espérons que cet article apportera une bouffée d'oxygène en montrant que l'on cherche des solutions, qu'on en cerne beaucoup même si elles sont encore inappliquées pour de multiples raisons, que bon nombre d'Ingénieurs des Ponts et Chaussées ne visent, en s'attaquant avec leurs collaborateurs à ces problèmes, qu'à apporter un peu plus de bien-être à leurs concitoyens !

A. LOUBEYRE, I.C.P.C.

50 % des façades des logements des villes françaises sont soumises à des niveaux de bruit qui dépassent les niveaux considérés comme confortables.

Après un premier mur vers 1968, l'HAY-les-ROSES au Sud de PARIS voit apparaître un ouvrage monumental qui protégera du bruit les riverains de B6. La GRANDE-BRETAGNE a adopté une loi qui prévoit l'indemnisation des riverains de voies dont les façades seraient soumises à plus de 65 dBA.

Le smog photochimique en CALIFORNIE a déclenché l'adoption par le Congrès des ETATS-UNIS du Clean Air Act qui n'a pas fini de retentir dans les divisions d'études et de recherches de l'industrie automobile.

La crise de l'énergie elle-même n'est pas parvenue à dissiper les préoccupations d'environnement physique tant en FRANCE que dans les pays industrialisés.

## Que fait-on ?

Les recherches des établissements publics (C.S.T.B. - I.R.T.) et des constructeurs de véhicules que l'Etat aide largement par l'intermédiaire de l'I.R.T. ont plus ou moins précédé trois catégories d'action dont le déclenchement dans le temps s'échelonne ainsi :

- réglementation des émissions des véhicules
- modification des infrastructures de transport
- incorporation de critères de bruit et de pollution dans l'appréciation des plans de circulation et de transport

Peut-être verrons-nous aussi bientôt apparaître en FRANCE des régulations des feux et des signalisations pour combattre les émissions de bruit ou de polluants ; des systèmes complexes de ce type existent déjà au JAPON et aux ETATS-UNIS.

## Les véhicules

La réglementation des émissions des véhicules est appliquée en FRANCE par la DIRECTION DES ROUTES ET DE LA CIRCULATION ROUTIERE, mais elle est décidée par la COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE.

La lourdeur des mécanismes de décision, les risques commerciaux encourus par les industries nationales font que les progrès à attendre sont modestes ; d'ailleurs le coût de la dépollution ou de l'insonorisation des véhicules n'est pas négligeable bien qu'il soit inférieur au coût de certains gadgets (3 à 10 % du coût des véhicules selon que les réductions d'émissions sont sensibles ou très élevées).

Il faut noter aussi que le bruit des véhicules automobiles circulant à plus de 80 km/h est principalement dû au roulement : aussi une réduction sensible ne peut être envisagée dans ce cas avant de nombreuses années.

Les réglementations d'émissions ne concernent que les véhicules neufs, si donc on tient compte du taux de renouvellement du parc, on

peut estimer qu'aucun effet sensible ne peut être espéré pour la réduction du bruit chez l'habitant pendant un délai de l'ordre de 7 ans après l'entrée en vigueur des réglementations.

Au total, l'ingénieur routier et l'urbaniste sont tout à fait concernés par les niveaux de bruit et de pollution subis par les riverains de voies de circulation.

## Les grandes voies de circulation

Les grandes voies rapides urbaines provoquent essentiellement une gêne due au bruit bien qu'elles constituent aussi des usines de production d'oxyde d'azote : le smog atmosphérique de type californien est d'ailleurs apparu en FRANCE en 1975 contrairement aux espoirs que l'on avait en 1971. Pour protéger les riverains des futures voies de circulation, il faut d'abord disposer d'instruments de prévision. A la demande du S.E.T.R.A. - Division Urbaine (M. POULIT, I.C.P.C. - M. SARDIN, I.P.C.) le CENTRE D'EVALUATION ET DE RECHERCHE DES NUISANCES DE l'I.R.T. a procédé à la mise au point de programmes de prévision du bruit et de la pollution. La Figure 1 donne un exemple d'isophones que l'on peut construire sur table traçante. Dans les cas complexes, on peut utiliser le Centre des maquettes du C.S.T.B. à GRENOBLE. (cf. photo).

La protection des riverains contre le bruit peut être assurée dans l'ordre des coûts décroissants par :

- la couverture des chaussées
- l'encaissement
- des écrans acoustiques
- en zone à construire, la **bonne disposition des plans masses.**

La construction d'écrans semble devoir prendre un essor important. Ainsi le JAPON, la REPUBLIQUE FEDERALE ALLEMANDE ont déjà des industriels spécialisés. Le surcoût entraîné par la pose d'écrans varie de 3 à 10 % du coût des voies. Après les premières opérations de l'HAY-les-ROSES, la construction d'écrans de taille plus modeste diffuse dans les services des Ponts et Chaussées. Ainsi à BRON, la D.D.E. du Rhône

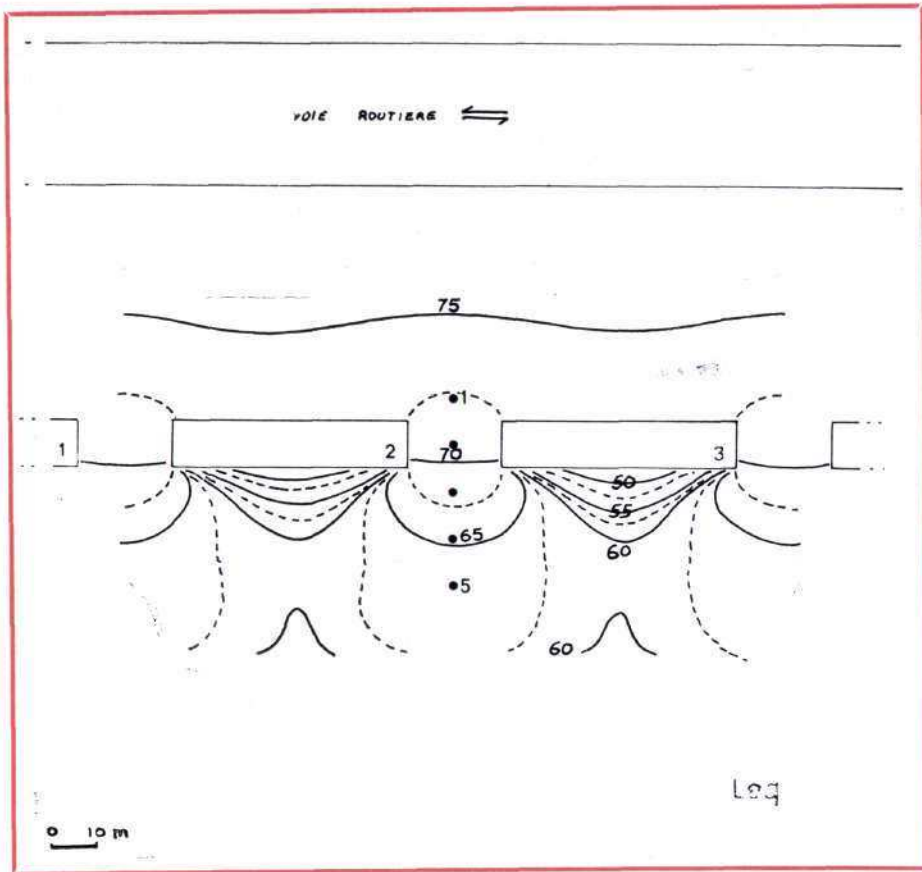


Figure N° 1 : Isophones aux abords d'une voie (Leq en dB A) (Centre d'Evaluation et de Recherche des Nuisances de l'I.R.T.)

a utilisé au mieux l'espace disponible pour ménager une levée de terre de 6 m de haut plus acceptable qu'un mur, cependant là où la surface au sol était insuffisante un mur a prolongé la levée de terre (cf. photo - M. PETRONGARI, Ingénieur T.P.E.).

La population apprécie les écrans dans la mesure où ils sont efficaces, l'intrusion visuelle est alors bien admise. Ainsi **les écrans semblent devoir entrer dans notre vie quotidienne** (cf. ci-dessous : extrait du « PROGRES » du 15-4-1976).

#### BRON

#### LE MUR ANTIBRUIT DE L'A. 43 EFFICACE OU INUTILE ? LA QUESTION RESTE POSEE

A la suite de la déclaration de M. Sousi, il fallait aller demander l'avis des intéressés qui habitent l'immeuble.

Des déclarations que nous avons entendue en faisant du porte à porte, il ressort que si une partie des gens sont très satisfaits, l'autre estime que cette réalisation qui a dû coûter fort cher, est inutile.

« Ce n'est pas efficace », « Le ronronnement des voitures s'est transformé en un bruit plus fort lorsque les véhicules sortent de derrière le mur », « On n'a plus de visibilité », « C'est beaucoup mieux on peut regarder la télévision les fenêtres ouvertes », « Depuis le temps qu'on l'attendait, c'est une belle réalisation », etc...

Voilà les principales réactions rapides que nous avons entendues en réponse à nos questions.

Au premier, dans la première allée, une dame assure que le bruit est plus fort qu'avant. « Nous n'avons pas d'amélioration en même temps que le désagrément de ne plus voir la nature. Il fallait attendre... » « Non au mur ». Un peu plus loin, au quatrième, une dame est heureuse. Elle peut enfin regarder la télévision le soir en laissant ses fenêtres ouvertes: « Avant c'était impossible », devait-elle affirmer.

M. et Mme Robelin, deux paisibles retraités qui aimaient bien voir passer les voitures sont tristes et un peu découragés lorsqu'ils déclarent.

« Avec ce mur la source du bruit n'est pas enlevée, mais seulement déplacée et nous sommes enfermés. La vue sur le parc, c'est du passé. Toutes ces grosses dépenses pour si peu de résultats, qui a pu décider cela. Voyez-vous Monsieur, ici, l'environnement est sacrifié ».

Efficace ou non, inutile ou non, argent gaspillé ou investissement utile ? La question reste posée et le restera sans nul doute longtemps...

Par ailleurs, dans un communiqué qu'il nous a fait parvenir le comité brondillant de défense de l'environnement déclare que « c'est bien grâce à l'opiniâtreté et l'imagination des habitants de ce quartier, soutenus par la population de Bron et (heureusement) par ses élus, que ce résultat a pu être obtenu après plus de quatre ans d'effort ».

Pour les constructions nouvelles aux abords des voies, il n'existe pas en FRANCE de texte réglementaire pour interdire la construction comme on le fait aux abords des aéroports. Les P.O.S. peuvent cependant prévoir des dispositions particulières. On se heurte au problème du seuil d'acceptabilité du bruit car on ne peut plus guère en 1976 respecter le seuil de 62 dBA en façade des logements ; or pour les niveaux de plus de 62 dBA, la gêne manifestée par les riverains croît régulièrement avec les niveaux de bruit alors qu'elle est incertaine au-dessous (3 enquêtes ont été effectuées en France sur ce thème par le C.S.T.B.).

Quel que soit le seuil économique possible, l'interdiction de construire serait beaucoup plus coûteuse que l'élaboration de plans masse d'ensemble adaptés à la protection contre le bruit : un bâtiment écran peut éviter d'interdire la construction sur des bandes de 150 à 200 m de large de part et d'autre des voies.

L'insonorisation des façades des logements est la seule à pouvoir être envisagée pour les bâtiments très hauts en bordure de voie ; dans les cas difficiles on peut même doubler les façades par des façades rideaux supplémentaires (étude du C.S.T.B.). Il faut en général renforcer ou installer la ventilation mécanique pour les locaux exposés et on aboutit à



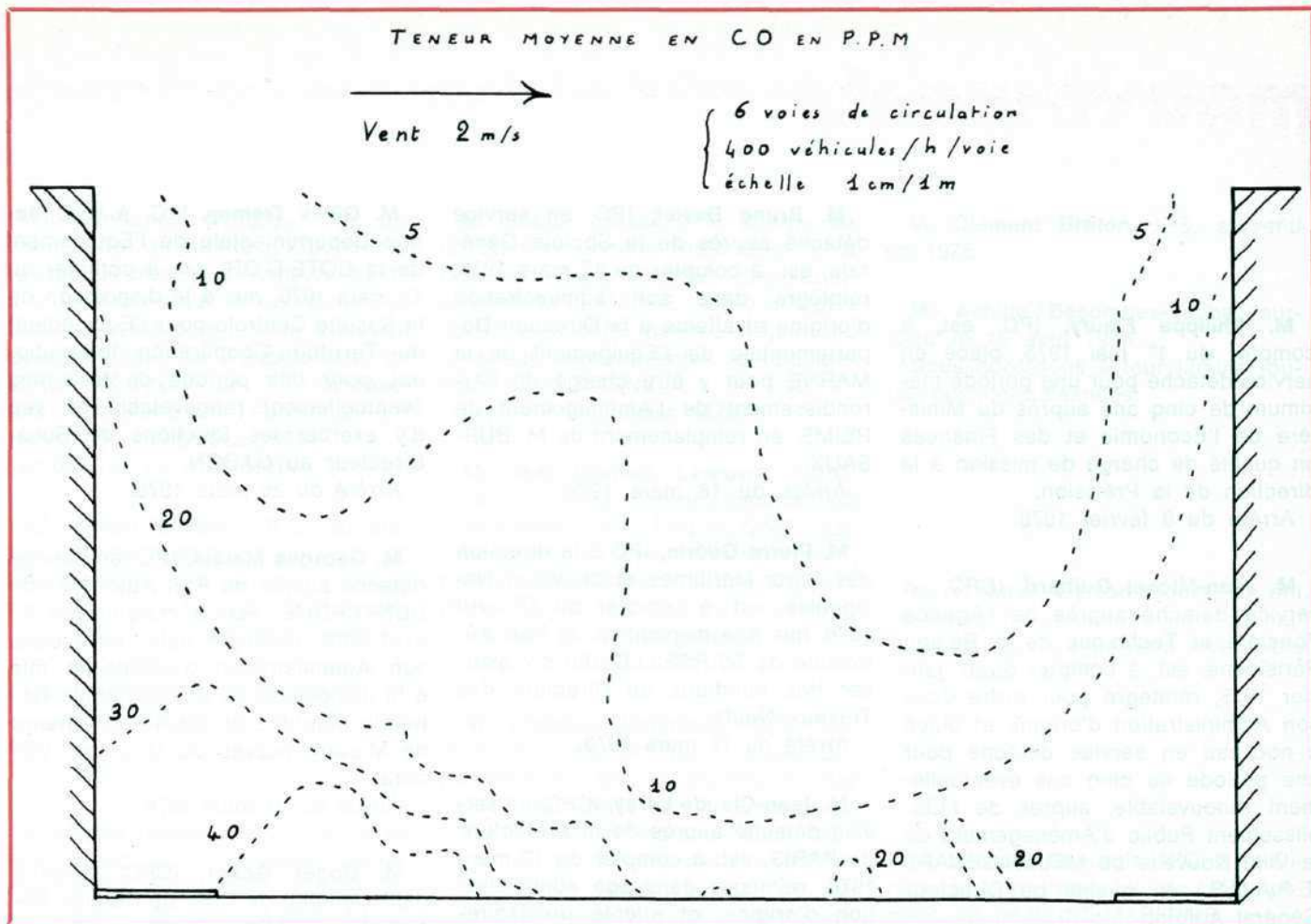


Figure 2 : Teneur moyenne en CO en P.P.M. dans une rue de Lyon (Centre d'Evaluation et de Recherche des Nuisances de l'I.R.T.)

des surcoûts importants (plus de 10 000 F par logement). L'efficacité de tels traitements est bien entendu limitée à l'intérieur des locaux fenêtres fermées.

## La circulation urbaine

Si elle est peu fluide la circulation des automobiles produit de l'oxyde de carbone dommageable autant à l'oxygénation du sang des automobilistes que des riverains. La diffusion des gaz est gênée dans les centres par les bâtiments en alignement, c'est ainsi qu'avec des circulations assez banales, on peut atteindre sur les façades sous le vent et pendant le jour, des concentrations qui dépassent les seuils fixés par l'O.M.S. (20 partie par millions ou 20 ppm, cf. Figure 2, relative à une avenue de LYON bordée d'immeubles de 6 niveaux).

Le détournement ou la limitation de la circulation constituent alors les seules mesures efficaces.

Pour le bruit, l'élimination des poids lourds des voies à intersections fréquentes est la première action possible. Malheureusement « améliorer » la circulation en développant les sens uniques peut avoir des effets néfastes, car on répand le bruit partout tout en augmentant les vitesses et accélérations génératrices de bruit.

## Conclusion

Les effets de la réduction des émissions des véhicules seront malheureusement très lents à se produire. Or la nécessité de réduire l'exposition des français au bruit et à la pollution s'impose : la prise de

conscience des habitants que l'on observe de plus en plus ne peut être rejetée, d'ailleurs il est parfaitement établi que le bruit et la pollution ont des effets négatifs sensibles.

Les I.P.C. et ceux qui les entourent auront donc de plus en plus à perfectionner tous critères d'appréciation pour permettre aux décideurs (Maires, collectivités, autorités politiques etc...) de bien ressentir l'impact que peuvent avoir sur l'environnement physique des villes les ouvrages qu'ils sont amenés à décider ou les plans d'urbanisme qu'ils sont amenés à arrêter.

## DOCUMENTS UTILES

Note d'information sur le bruit des transports  
 (note n° 5 - I.R.T. - C.E.R.N.)  
 Guide du bruit.  
 (Nouvelle édition en cours de parution au S.E.T.R.A.)

## DECISIONS

**M. Philippe Fleury**, IPC, est, à compter du 1<sup>er</sup> mai 1975, placé en service détaché pour une période maximum de cinq ans auprès du Ministère de l'Economie et des Finances en qualité de chargé de mission à la direction de la Prévision.

Arrêté du 6 février 1976.

**M. Jean-Michel Guittard**, ICPC, en service détaché auprès de l'Agence Foncière et Technique de la Région Parisienne, est, à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1975, réintégré pour ordre dans son Administration d'origine et placé à nouveau en service détaché pour une période de cinq ans éventuellement renouvelable, auprès de l'Etablissement Public d'Aménagement de la Ville Nouvelle de MELUN-SENART (E.P.A.M.S.) en qualité de Directeur Général Adjoint.

Arrêté du 9 février 1976.

**M. Pierre de Demandolx-Dedons**, IPC, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1975, placé en service détaché pour une période de cinq ans, éventuellement renouvelable, auprès du Comité Central des Armateurs de France, en qualité de Délégué Général Adjoint.

Arrêté du 1<sup>er</sup> mars 1976.

**M. Jean Beau**, ICPC, en disponibilité depuis le 1<sup>er</sup> avril 1971, est, à compter du 1<sup>er</sup> mars 1976, réintégré dans son corps d'origine et affecté à l'Inspection Générale de l'Equipe-ment en vue de recevoir une mission d'Inspection Générale.

Arrêté du 3 mars 1976.

**M. Armand Bouttier**, ICPC, affecté provisoirement au Service Régional de l'Equipe-ment de la Région Parisienne, est, à compter du 3 février 1976, mis à la disposition du Secrétaire d'Etat auprès du Ministre de la Qualité de la Vie (Tourisme).

Arrêté du 16 mars 1976.

**M. Bruno Daviet**, IPC, en service détaché auprès de la Société Générale, est, à compter du 1<sup>er</sup> mars 1976, réintégré dans son Administration d'origine et affecté à la Direction Départementale de l'Equipe-ment de la MARNE pour y être chargé de l'Ar-rondissement de l'Aménagement de REIMS, en remplacement de M. BURSAUX.

Arrêté du 16 mars 1976.

**M. Pierre Guérin**, IPC à la direction des Ports Maritimes et de Voies Navigables, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, mis à la disposition du Port Autonome de MARSEILLE afin d'y exercer des fonctions de Directeur des Travaux Neufs.

Arrêté du 17 mars 1976.

**M. Jean-Claude Leray**, ICPC, en service détaché auprès de la Préfecture de PARIS, est, à compter du 1<sup>er</sup> mars 1976, réintégré dans son administration d'origine, et affecté provisoirement à la Direction du Personnel et de l'Organisation des Services.

Arrêté du 17 mars 1976.

**M. Gérard Couzy**, IPC, en service détaché auprès de l'Etablissement Public d'Aménagement de la Ville nouvelle du VAUDREUIL, est, à compter du 16 février 1976, réintégré dans son Administration d'origine et affecté au Service Régional de l'Equipe-ment de la Région Parisienne en qualité d'Adjoint au Directeur de la Division des Etudes et Réseaux Urbains.

Arrêté du 18 mars 1976.

**M. Boris Catoire**, ICPC, en service détaché auprès du Port Autonome de ROUEN, est, à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1976, réintégré pour ordre dans son Administration d'origine et mis à la disposition du Ministère de l'Economie et des Finances sur un emploi de Conseiller Commercial pour exercer les fonctions de Chef des Services de l'Expansion Economique au PAKISTAN.

Arrêté du 19 mars 1976.

**M. Gilles Tremey**, IPC, à la Direction Départementale de l'Equipe-ment de la COTE-D'OR, est, à compter du 1<sup>er</sup> mars 1976, mis à la disposition de la Société Centrale pour l'Equipe-ment du Territoire-Coopération International, pour une période de trois ans éventuellement renouvelable en vue d'y exercer les fonctions de Sous-Directeur au GABON.

Arrêté du 26 mars 1976.

**M. Georges Marais**, IPC, en service détaché auprès du Port Autonome de DUNKERQUE, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, réintégré pour ordre dans son Administration d'origine et mis à la disposition de la Compagnie Générale Maritime en qualité de chargé de Mission auprès du Directeur Général.

Arrêté du 31 mars 1976.

**M. Roger Gouet**, ICPC, détaché dans l'emploi de Chef de Service Régional de l'Equipe-ment « BRETAGNE », est, à compter du 1<sup>er</sup> juin 1976, réintégré dans son corps d'origine et affecté à l'Inspection Générale de l'Equipe-ment pour recevoir une mission d'Inspection Générale et muté de la résidence administrative de RENNES à celle de NANTES.

Arrêté du 7 avril 1976.

**M. Edmond Corbin**, IGPC, en service détaché auprès du Ministère des Affaires Etrangères, est, à compter du 1<sup>er</sup> mai 1976, réintégré dans son Administration d'origine et nommé membre attaché au CONSEIL GENERAL DES PONTS ET CHAUSSEES.

Arrêté du 8 avril 1976.

**M. Jean-Pierre Catalaa**, IPC, chargé de l'O.R.E.A.M. « Aquitaine », est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, placé en service détaché auprès de la S.A.V. I.E.M. pour une période de cinq ans, éventuellement renouvelable, afin d'y exercer les fonctions d'Assistant au Directeur de la Division Autocars et Autobus.

Arrêté du 12 avril 1976.

**M. Jean-Louis Deligny**, IPC, est nommé Chef du Centre d'Etudes des Transports Urbains à compter du 1<sup>er</sup> mars 1976 et en sus de ses nouvelles fonctions, reste chargé à la Direction Départementale de l'Equipement de SEINE-et-MARNE de l'Arrondissement temporaire de l'Autoroute A.4 jusqu'au 31 décembre 1976.

Arrêté du 14 avril 1976.

**M. Joseph Olivesi**, IGPC, en service détaché auprès du Ministère de l'Intérieur dans un emploi de Directeur à la Préfecture de PARIS, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, réintégré dans son administration d'origine et désigné comme membre attaché au Conseil Général des Ponts et Chaussées.

Arrêté du 14 avril 1976.

**M. Michel Demarre**, IPC, chargé de mission auprès du Directeur Départemental de l'Equipement de LOT-et-GARONNE, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, chargé de l'Arrondissement fonctionnel et opérationnel, à la Direction Départementale de l'Equipement de LOT-et-GARONNE.

Arrêté du 20 avril 1976.

**M. Michel Laurent**, IGPC, au Ministère de l'Industrie et de la Recherche, est, à compter du 6 avril 1976, réintégré dans son Administration d'origine et désigné comme membre attaché au Conseil Général des Ponts et Chaussées.

Arrêté du 23 avril 1976.

## NOMINATIONS

**M. Georges Dupire**, ICPC, détaché dans l'emploi de Directeur Départemental de l'Equipement de l'OISE, est à compter du 11 avril 1976, nommé Chef du Service Régional de l'Equipement « PICARDIE » en remplacement de M. ROJOT admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Arrêté du 26 mars 1976.

**M. Robert Forest**, IPC, chargé de la branche « Infrastructures », à la Direction Départementale de l'Equipement de la MARNE, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, nommé Adjoint au Directeur Départemental de l'Equipement de la MARNE.

Arrêté du 30 mars 1976.

**M. Jean-Jacques Lefebvre**, ICPC, à la Direction Départementale de l'Equipement d'ILLE-et-VILAINE, est, à compter du 1<sup>er</sup> juin 1976, nommé Directeur Départemental de l'Equipement des COTES-du-NORD, en remplacement de M. DELAUNAY.

Arrêté du 7 avril 1976.

**M. Christian Delaunay**, ICPC, détaché dans l'emploi de Directeur Départemental de l'Equipement des COTES-du-NORD, est, à compter du 1<sup>er</sup> juin 1976, nommé Chef du Service Régional de l'Equipement « BRETAGNE » en remplacement de M. GOUET, appelé à d'autres fonctions.

Arrêté du 7 avril 1976.

## NAISSANCES

**M. et Mme Claude Gressier** ont la joie d'annoncer la naissance d'Agathe et Violaine, le 1<sup>er</sup> février 1976.

**Anne et Jean-François Janin** sont heureux d'annoncer la naissance de Marianne, le 7 avril 1976.

**Françoise et Philippe Aussourd** sont heureux d'annoncer la naissance d'Isabelle, le 13 avril 1976.

## DECES

On nous prie d'annoncer le décès de :

**M. Eugène Cassard**, ICPC, survenu en 1975.

**M. Clément Breton**, IPC, survenu en 1975.

**M. Achille Besombes-Vailhe**, survenu le 15 avril 1976.

Nous adressons à leur famille toutes nos condoléances.

## MARIAGES

**M. et Mme Gaston Rousseau** ont l'honneur de vous faire part du mariage de leur fils Bernard, avec Mlle Annie Vatel.

## MUTATIONS

**M. Bernard Chauvois**, IPC, à la Direction Départementale de l'Equipement de la SEINE-MARITIME, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, muté à la Direction Départementale de l'Equipement de l'Oise, pour y être chargé du Groupe d'Etudes et de Programmation.

Arrêté du 1<sup>er</sup> mars 1976.

**M. Jean-François Levy**, IPC, au Service Technique des Phares et Balises, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, muté à la Direction des Ports Maritimes et des Voies Navigables — Sous-Direction Travaux — pour y être chargé de la Section des Affaires Internationales.

Arrêté du 31 mars 1976.

**M. Jacques Perrier**, IPC, à la Direction Départementale de l'Equipement des VOSGES, est, à compter du 1<sup>er</sup> avril 1976, muté au Centre d'Etudes des Tunnels.

Arrêté du 31 mars 1976.

**M. Jean Chatelus**, IPC, à la Direction Départementale de l'Equipement du HAUT-RHIN, est, à compter du 1<sup>er</sup> mai 1976, muté dans l'intérêt du service, à la Direction Départementale

de l'Équipement de la COTE-D'OR, pour y être chargé de l'Arrondissement Urbain à DIJON.  
Arrêté du 8 avril 1976.

**M. Jacques Pertuzio**, IPC, au service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, est, à compter du 1<sup>er</sup> mai 1976, muté dans l'intérêt du service, à la Direction Départementale de l'Équipement de la LOIRE en qualité d'Adjoint au Directeur.  
Arrêté du 21 avril 1976.

## RETRAITES

**M. Louis Jarrot**, ICPC, est, à compter du 2 avril 1976, admis, sur sa

demande, à faire valoir ses droits à la retraite.  
Arrêté du 4 mars 1976.

**M. Pierre Le Treste**, IPC, est, à compter du 1<sup>er</sup> mai 1976, admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite.  
Arrêté du 4 mars 1976.

**M. André Leger**, IPC, à la Direction Départementale de l'Équipement du NORD, est, à compter du 25 août 1976, admis à faire valoir ses droits à la retraite.  
Arrêté du 16 mars 1976.

**M. Raymond Sensfelder**, IPC, en position de disponibilité, est réintégré pour ordre dans son administration

d'origine et admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite.  
Arrêté du 23 mars 1976.

**M. Maurice Durand-Dubief**, IGPC, en position de disponibilité, est réintégré pour ordre dans son Administration d'origine et admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite.  
Arrêté du 24 mars 1976.

**L'ASSEMBLEE GENERALE** de l'A.I.P.C. s'est tenue à Paris le 29 avril 1976.

Après dépouillement des élections, le directoire est constitué ainsi : **Jacques Tanzi**, Président, **Hubert Guéret**, **Jacques Leclercq**, **Jean Perrin**, **Jean-François Poupinel**.

L'Assemblée Générale de l'A.I.P.C., dans sa réunion du 29 avril, a décidé que les cotisations de l'année 1976 seraient identiques à celles adoptées par le PCM en 1975 (1).

	Association	Revue
Ingénieur élève .....	—	—
Ingénieur en service dans l'Administration .....	25	65
Ingénieur en Chef en service dans l'Administration ..	85	65
Ingénieur tout grade en activité hors Administration ..	85	65
Ingénieur tout grade en retraite sans activité rémunérée	20	40

(1) Il n'y a aucune cotisation individuelle au titre du PCM pour 1976.

Il est demandé à tous les Ingénieurs des Ponts et Chaussées d'envoyer — adhésion — et — cotisation — à l'A.I.P.C., 28, rue des Saints-Pères, 75007 PARIS (**chèques libellés à l'ordre de l'A.I.P.C.**).

(Les adhérents à l'A.I.P.C. seront automatiquement membres adhérents du P.C.M.)

# FORMATION CONTINUE

## programme de juin 1976

### ASPECTS ACTUELS DE LA SIGNALISATION MARITIME PROGRAMME DÉTAILLÉ

2 et 3 juin

Le Havre

#### Responsable :

M. Prunieras, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Directeur du Service des Phares et Balises, Ministère de l'Équipement  
M. Deutsch, Ingénieur-Conseil  
MM. Degré, Lefèvre, Martin, Ribadeau-Dumas (STPB)

Soirée : visite du sémaphore.

#### jeudi 3 juin

8 h 45 à 10 h 45

Systèmes de radionavigation : Exposé des besoins ; systèmes utilisés et principes de fonctionnement ; adéquation des systèmes aux besoins : M. Abadie (STPB)

### ÉCONOMIE DES TRANSPORTS ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

10 et 11 juin - 27 au 29 septembre

Paris

#### Conférenciers :

MM. Barre (Semmaris), Bieber (IRT), Bluet (ONSR), Coudrai (Cerlic), Fischer (SAEI), Kail (SAEI), Lamure (IRT), Menachal (SAEI), Poulizac (ITM), Raynalt (DTT), Tiberge (Semmaris)

#### jeudi 10 juin

9 h 30 à 12 h 30

Transports de marchandises : M. Raynalt

14 h 00 à 18 h 00

Étude de cas : Logistique Industrielle : M. Coudrai

#### vendredi 11 juin

9 h 30 à 12 h 30

Transports interurbains de Voyageurs : M. Kail

14 h 00 à 18 h 00

Transports maritimes : M. Poulizac

#### lundi 27 septembre

9 h 30 à 12 h 30

Transports urbains : M. Bieber

14 h 00 à 18 h 00

Études de cas Transports urbains : M. Bieber, assisté d'une équipe de collaborateurs de la Division Transports Urbains de l'I.R.T.

#### mardi 28 septembre

9 h 30 à 12 h 30

Transport et Aménagement de l'Espace : M. Fischer

14 h 00 à 18 h 00

Choix des investissements : M. Ménachal

#### mercredi 29 septembre

9 h 30 à 12 h 30

Visite sur le terrain de la Gare Routière de Rungis : M.

Tiberge - Accueil par M. Barre

14 h 00 à 18 h 00

Transports et Effets Externes : Nuisances : M. Lamure ;  
sécurité : M. Bluet

Cette session se déroulera à Paris. Les stagiaires auront à assurer personnellement leur hébergement.

Les droits d'inscription sont fixés globalement à 2 000 F. L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement.

### QUELQUES MÉTHODES DE CALCUL DES VIBRATIONS ET DE LA STABILITÉ DES STRUCTURES

14 au 18 juin

Aix-en-Provence

#### Responsable :

M. Bamberger, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Département des Structures et Ouvrages d'Art au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), Professeur de Mécanique à l'École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC)

#### Animateurs et Conférenciers :

MM. Armand (IRCN), Benque (EDF), Bisch (Structec), Hauguel (ENPC), Ohayon (ONERA)

### PROGRAMMATION DES ÉQUIPEMENTS ET QUALITÉ DES SERVICES COLLECTIFS

15 au 17 juin

Région Parisienne

#### Responsable :

Mlle Billiard, Chargée de Mission, Cellule de la Recherche Urbaine, Service des Affaires Économiques et Internationales (SAEI), Ministère de l'Équipement

## Conférenciers :

MM. Baldassari (Crecele), de Lapparent (INA), Dreyfus (Professeur à l'Université de Grenoble)

Mlle Dujonc (Institutrice)

MM. Fourquet (Cerfi), Grammont (Dafu), Guattari (Psychanalyste), Guillaume (Professeur à l'Université de Paris-Dauphine), Joubert (Crecele), Maury (Cerfi), Mozère (Cerfi), Murard (Cerfi), Preteceille (CSU), Pollack (Psychiatre), Querrien (Cerfi), Rendu (Sociologue au CSU), Scheer (Ministère de l'Équipement), Trintignac (Groupe Interministériel Permanent de Coordination « Habitat et Travail »)

### mardi 15 juin

9 h 00 à 9 h 30  
Introduction : M. de Lapparent  
9 h 30 à 11 h 00  
Les équipements de voisinage - Discussion : M. Trintignac  
11 h 00 à 12 h 00  
Expérimentation sociale - Discussion : M. Scheer  
12 h 00 à 13 h 00  
Conclusion : M. Grammont  
15 h 00 à 16 h 00  
Étude d'un cas : la Région Parisienne - Description et analyse de la répartition inégale des équipements : M. Rendu  
16 h 15 à 17 h 30  
Discussion

### mercredi 16 juin

Comment définir la demande et les besoins  
9 h 00 à 9 h 30  
Une définition des besoins : M. Preteceille  
9 h 30 à 10 h 00  
Besoin et désir : M. Dreyfus  
10 h 00 à 10 h 30  
Rôle de la notion de la demande dans la programmation (demande latente, demande manifeste) : M. Querrien  
10 h 30 à 11 h 30  
Coup de force et institutionalisation du besoin : M. Murard  
11 h 00 à 12 h 30  
Discussion  
15 h 00 à 16 h 00  
La canalisation de la demande dans la programmation (les mécanismes du Plan) - Discussion : M. Guillaume  
16 h 30 à 17 h 30  
La programmation institutionnelle - Discussion : M. Guattari

### jeudi 17 juin

Exposés des propositions de programmation  
9 h 00 à 9 h 30  
Histoire de la politique de secteur : M. Fourquet  
9 h 30 à 10 h 00  
Proposition d'équipement d'hygiène mentale : M. Pollack  
10 h 00 à 10 h 45  
Discussion  
11 h 00 à 11 h 30  
Généalogie de l'école primaire : M. Querrien  
11 h 30 à 12 h 00  
Pour une école accueillante (Pédagogie institutionnelle) : M. Dujonc  
12 h 00 à 13 h 00  
Discussion  
15 h 00 à 15 h 30  
Formes historiques de la prise en charge des enfants : M. Joubert  
15 h 30 à 16 h 00  
Terrains d'aventure : M. Baldassari  
16 h 00 à 16 h 45  
Discussion  
17 h 00 à 17 h 30  
Les crèches : Histoire et limites actuelles : M. Maury

17 h 30 à 18 h 00

Un projet d'hôtel pour enfants : M. Mozère

18 h 00 à 19 h 00

Discussion

Les droits d'inscription (y compris frais d'hébergement) sont fixés à 1 650 F.

L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement qui ne devront verser à l'Association que leur participation aux frais d'hébergement se montant à 294 F.

## PROTECTION DES BATIMENTS CONTRE L'INCENDIE

15 au 17 juin

Orléans

### Responsable :

M. Desmadryl, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Chef de la Division de la Réglementation Technique, Direction de la Construction, Ministère de l'Équipement

### Conférenciers :

MM. Arnault (CTICM), Blachère (CSTB), le Colonel Cabret (CSTB), Gaignou (COSTIC), le Colonel Gère (Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris), le Colonel Haure (Colonel de Pompiers), Hognon (CSTB), Malaval (Cated), Traverse (DSC), Wahl (CTICM)

### mardi 15 juin

8 h 30 à 9 h 00  
Accueil des participants  
9 h 00 à 9 h 30  
Présentation de la session : M. Desmadryl  
9 h 30 à 12 h 30  
Les principes généraux de la prévention contre l'incendie : M. Blachère  
14 h 30 à 16 h 30  
Les essais de caractérisation des matériaux et des ouvrages : M. le Colonel Cabret  
16 h 30 à 18 h 30  
Les méthodes de prévision de la résistance au feu par le calcul : M. Arnault

### mercredi 16 juin

9 h 00 à 12 h 30  
La réglementation des établissements recevant le public : principes généraux ; applications : MM. le Colonel Haure, Traverse  
14 h 30 à 18 h 30  
La réglementation des immeubles de grande hauteur : principes généraux ; applications : M. le Colonel Gère

### jeudi 17 juin

9 h 00 à 12 h 30  
La réglementation des bâtiments d'habitation : principes généraux ; applications : MM. Desmadryl, Malaval  
14 h 30 à 16 h 30  
Les études en cours : MM. Hognon, Gaignou  
16 h 30 à 18 h 30  
Les constructions industrialisées : M. Wahl

Les droits d'inscription (y compris frais d'hébergement) sont fixés globalement à 1 550 F.

L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement qui ne devront verser à l'Association que leur participation aux frais d'hébergement se montant à 294 F.

## TECHNOLOGIES ET ÉNERGIES NOUVELLES APPLIQUÉES AU CHAUFFAGE DES BATIMENTS

15 au 17 juin

Massy-Palaiseau

### Responsable :

M. Trichard, Ingénieur des Ponts et Chaussées,  
Chef de la Division des Etudes et de la  
Politique Energétique, Direction de la  
Construction, Ministère de l'Équipement

### Conférenciers :

MM. Bertrand (SNEC), Chemillier (Ministère de  
l'Équipement), Choffé (Agence pour les  
Economies d'Énergie), Clain (Costic),  
Cubaud (CNT-HLM), David (Ministère de  
l'Équipement), Gil (Costic)

### mardi 15 juin

9 h 00 à 9 h 30  
Présentation du stage : M. Chemillier  
9 h 30 à 11 h 00  
Définition des énergies et technologies nouvelles : M.  
Trichard  
11 h 15 à 12 h 45  
Expériences américaines : M. David  
14 h 30 à 16 h 00  
Technologie de l'échangeur et de la pompe à chaleur :  
M. Clain  
16 h 15 à 18 h 00  
Application au chauffage des bâtiments

### mercredi 16 juin

9 h 00 à 12 h 30  
L'énergie solaire : théorie, technologie, aspects écono-  
miques ; réglementation - perspectives ; relation avec  
l'architecture et l'urbanisme : MM. Gil, Trichard  
14 h 30 à 18 h 00  
L'énergie géothermique : théorie, aspects économiques ;  
un exemple de réalisation : Creil : MM. Bertrand,  
Cubaud

### jeudi 17 juin

9 h 00 à 12 h 30  
Les énergies de rejet : théorie ; rejets industriels ; cen-  
trales thermo et nucléo-électriques : MM. Bertrand,  
Choffé  
14 h 30 à 18 h 00  
Table ronde

Cette session se déroulera à Paris. Les stagiaires auront  
à assurer personnellement leur hébergement.  
Les droits d'inscription sont fixés globalement à 1 200 F.  
L'É.N.P.C. prend directement en charge les frais pé-  
dagogiques des agents du Ministère de l'Équipement.

## REMBLAIS SUR SOLS COMPRESSIBLES

15 au 18 juin

Toulouse

### Responsable :

M. Bourges, Ingénieur ENSM de Nantes, Char-  
gé de Mission auprès du Chef du Dépar-  
tement des Sols et Fondations du Labora-  
toire Central des Ponts et Chaussées (LC  
PC), Maître de Conférences de Mécanique  
des Sols à l'École Nationale des Ponts et  
Chaussées (ENPC)

### Conférenciers :

MM. Legrand (CETE d'Aix), Magnan (LCPC),  
Mieussens (LRPC de Toulouse), Peignaud  
(LRPC d'Angers), Puig (LRPC de Toulouse),  
Queyroi (LRPC de Bordeaux), Vautrain  
(LRPC de Rouen)

### mardi 15 juin

8 h 30 à 9 h 00  
Accueil des participants - Remise des documents  
9 h 00 à 9 h 30  
Présentation et ouverture de la session : M. Legrand  
9 h 30 à 10 h 15  
Remblais sur sols compressibles en France - Nature et  
fréquence des problèmes : M. Mieussens  
10 h 15 à 11 h 15  
Rappel de quelques notions essentielles de Mécanique  
des Sols : M. Bourges  
11 h 30 à 12 h 30  
Etude des sols : Reconnaissance - Essais en place : M.  
Peignaud  
14 h 00 à 15 h 00  
Etude des sols : Essais en laboratoire - Synthèse des ré-  
sultats : M. Mieussens  
15 h 00 à 16 h 00  
Etude de la stabilité : Types de rupture - Calcul du  
coefficient de sécurité : M. Bourges  
16 h 15 à 17 h 00  
Film sur la rupture du remblai expérimental de Cubzac-  
les-Ponts  
17 h 00 à 17 h 30  
Discussion

### mercredi 16 juin

8 h 30 à 9 h 30  
Etude des tassements : Nature des phénomènes - Mé-  
thodes de calculs : M. Magnan  
9 h 30 à 10 h 15  
Etude des tassements - Enseignements pratiques tirés  
des observations : M. Bourges  
10 h 30 à 12 h 30  
Méthodes courantes de construction : Consolidation pro-  
gressive - Construction par phases - Utilisation de  
banquettes latérales - Utilisation de drains verticaux -  
Utilisation de surcharges temporaires - Dragage -  
Compactage dynamique : M. Mieussens  
14 h 00 à 17 h 30  
Travaux dirigés sur calculs de stabilité et des tassements :  
MM. Bourges, Mieussens, Peignaud  
17 h 30 à 18 h 00  
Discussion

### jeudi 17 juin

8 h 30 à 10 h 00  
Le corps du remblai : Choix du matériau - Mise en œuvre -  
Caractéristiques mécaniques : MM. Mieussens, Puig  
10 h 15 à 12 h 30  
Observations pendant et après la construction du rem-  
blai : But : ajustement des prévisions au comporte-  
ment réel de l'ouvrage - Appareillages utilisés :  
description, mise en œuvre, manipulation en salle :  
M. Peignaud  
14 h 00 à 17 h 00  
Sur le terrain : démonstration et manipulation d'appareils  
de sondages, essais en place, mesures

### vendredi 18 juin

Présentation d'exemples de remblais sur sols compres-  
sibles : étude, mesures, comparaison entre les pré-  
visions et les constatations  
8 h 30 à 10 h 00  
Exemple d'un remblai sur tourbe, le remblai de la Vallée  
de la Dives : M. Vautrain  
10 h 15 à 11 h 45  
Exemple d'un remblai sur argile molle : le remblai de  
Cubzac-les-Ponts : M. Queyroi

11 h 45 à 12 h 30

Discussion sur l'ensemble des journées - Clôture

Les droits d'inscription (y compris frais d'hébergement) sont fixés globalement à 2375 F.

L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement qui ne devront verser à l'Association que leur participation aux frais d'hébergement se montant à 392 F.

## EXÉCUTION DES OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIT

15 au 18 juin

Rouen

### Responsables :

- M. Brault, Ingénieur des Ponts et Chaussées à la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) de Seine-Maritime
- M. Adam, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Réglementation à l'Union Technique Interprofessionnelle des Fédérations Nationales du Bâtiment et des Travaux Publics (UTI)
- M. Muller, Ingénieur Civil des Ponts et Chaussées, Directeur Scientifique et Technique à la Société Campenon-Bernard

### Animateurs et Conférenciers :

- Mme Brachet (LCPC)
- MM. Lènes (Campenon-Bernard), Lootvoet (LR PC de Rouen), Mamillan (CEBTP), Mathivat (Campenon-Bernard), Néron (DDE de Seine-Maritime), Pous (STUP), Raclin (DDE de Seine-Maritime), Thivans (Campenon-Bernard), Vallantin (Setra), Wolfers (UTI)

### mardi 15 juin

10 h 00 à 11 h 00

Accueil - Introduction : M. Brault

11 h 00 à 13 h 00

Coffrages : choix des parements, rigidité, coffrages glissants : MM. Adam, Vallantin

14 h 30 à 16 h 00

Etalements - Cintres : M. Vallantin

16 h 30 à 18 h 00

Mise en place des armatures et câbles (raccords des gaines, position des ancrages et des frettes (tant en préfabriqué qu'en coulé en place etc..)) : M. Pous

### mercredi 16 juin

9 h 00 à 10 h 45

Ciments, adjuvants, granulats : M. Adam ; Mme Brachet

11 h 00 à 12 h 30

Essais de convenance, éléments d'essais en vraie grandeur (poutres préfabriquées, voussoirs, etc..) : MM. Néron, Thivans

Déjeuner sur le chantier du Pont de Brotonne

14 h 00 à 18 h 00

Visite de l'ouvrage

### jeudi 17 juin

9 h 00 à 10 h 30

Vibration du béton : M. Wolfers

10 h 30 à 12 h 00

Traitements thermiques : M. Mamillan

12 h 00 à 13 h 15

Exemple des âmes du Pont de Brotonne : M. Lootvoet

14 h 30 à 18 h 00

Problèmes exceptionnels (Pont de Brotonne) - Utilisation de barres  $\varnothing$  56 : positionnement et raboutage, ferrailage et bétonnage des voussoirs sur pylônes : MM. Brault, Muller

### vendredi 18 juin

9 h 00 à 12 h 30

Haubans (Pont de Brotonne) : constitution, ancrages, mise en place, mise en tension, réglages, injection : MM. Brault, Lènes, Mathivat, Raclin

14 h 00 à 17 h 30

Table ronde et discussion avec la présence des divers animateurs

Les droits d'inscription (y compris frais d'hébergement) sont fixés globalement à 2275 F.

L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement qui ne devront verser à l'Association que leur participation aux frais d'hébergement se montant à 392 F.

## ÉCONOMIE INDUSTRIELLE

17 et 18 juin - 20 au 22 septembre

Paris

### Responsable :

- M. Derrieux, Ancien élève de l'École Normale Supérieure, Professeur à l'Université de Paris X et à l'École Normale Supérieure

### Conférencier :

- M. Witkowski, Ingénieur ECP, Directeur Scientifique de la SERETES

### Première partie

#### jeudi 17 juin

9 h 30 à 12 h 30

Introduction générale. Les facteurs des localisations industrielles et les problèmes d'approvisionnements : M. Derrieux

14 h 00 à 18 h 00

L'approvisionnement en énergie - L'approvisionnement en matières premières - Le poids de la main-d'œuvre et du marché de consommation

#### vendredi 18 juin

9 h 30 à 12 h 30

Les problèmes d'implantation industrielle : le choix des localisations : M. Witkowski

14 h 00 à 18 h 00

Les coûts de production - L'entreprise dans la région : M. Derrieux

### Deuxième partie

#### lundi 20 septembre

9 h 30 à 12 h 30

Les structures industrielles : Présentation des différentes branches industrielles - Le financement - La taille des entreprises - La concentration industrielle : M. Derrieux

14 h 00 à 18 h 00

L'industrie dans la ville : Localisation industrielle et ville d'accueil - L'intégration de l'industrie dans la ville - Les zones industrielles : M. Derrieux

#### mardi 21 septembre

9 h 30 à 18 h 00

Visite d'une zone industrielle nouvelle de la Région Parisienne - Accueil par différents industriels  
Étude de leurs motivations dans le choix de l'implantation et de leurs réflexions, après expérience

#### mercredi 22 septembre

9 h 30 à 12 h 30

Aménagement du Territoire et entreprise

14 h 00 à 18 h 00

Synthèse générale animée par M. Derrieux

Discussion à partir des observations recueillies pendant le stage par les participants

Cette session se déroulera à Paris. Les stagiaires auront à assurer personnellement leur hébergement.

Les droits d'inscription sont fixés globalement à 2000 F. L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement.



# ÉQUIPEMENTS D'EXPLOITATION ET DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE EN MILIEU URBAIN : PLANS DE CIRCULATION

21 au 25 juin

Paris

## Responsable :

M. Blondel, Chargé d'études à la Sous-Direction de l'Exploitation Routière, Service de l'Exploitation Routière et de Sécurité (SERES), Direction des Routes et de la Circulation Routière

## Conférenciers :

MM. Baeckeroot (SERES), Biros (SETRA), Fourrot (SERES)  
Mmes Paris (SETRA), Dubois-Taine (SETRA)  
M. Thuillier (Services Techniques de la Ville de Nancy)

## lundi 21 juin

9 h 00 à 10 h 30  
Présentation générale des plans de circulation : principes généraux - objectifs particuliers pour 1976 : M. Blondel  
10 h 45 à 12 h 15  
Cas d'une ville : les études globales - les études d'équipement - la réalisation : Un ingénieur de la Ville présentée  
14 h 00 à 14 h 50  
Recueil des données pour les études d'équipement : M. Blondel  
Equipements concernant la circulation des véhicules motorisés  
15 h 00 à 17 h 00  
La signalisation de jalonnement en agglomération : M. Baeckeroot

## mardi 22 juin

9 h 00 à 9 h 30  
Principes généraux du marquage dans les villes : M. Baeckeroot  
9 h 30 à 10 h 00  
La nouvelle réglementation des feux de circulation : M. Baeckeroot  
10 h 15 à 11 h 00  
La signalisation de priorité en agglomération : M. Baeckeroot  
11 h 15 à 12 h 00  
L'Information - Service : M. Fourrot  
14 h 00 à 15 h 30  
Autres équipements de sécurité et de confort : Limitation des vitesses - Protection contre les sorties de chaussée - Glissance - Eclairage des points dangereux de nuit - Bornes d'appel d'urgence : M. Blondel  
15 h 45 à 17 h 00  
Aménagement des arrêts et du stationnement : Stationnement des véhicules particuliers - Livraison des marchandises : Mme Paris

## mercredi 23 juin

Equipements de régulation  
9 h 00 à 10 h 30  
Méthodes et stratégies de la microrégulation aux carrefours : M. Biros  
10 h 45 à 12 h 00  
Conception d'un système de régulation - Macrorégulation : M. Biros  
14 h 00 à 15 h 30  
Présentation d'une régulation centralisée : Nancy : M. Thuillier  
15 h 45 à 17 h 15  
Présentation d'une régulation hiérarchisée : Nice : Un ingénieur de la Ville de Nice

## jeudi 24 juin

9 h 00 à 12 h 00  
Prise en compte des autobus dans la régulation : M. Biros  
14 h 00 à 15 h 00  
Signalisation variable - Systèmes de surveillance du réseau : M. Biros  
15 h 15 à 17 h 00  
Equipements concernant les deux-roues : prise en compte des 2-roues dans les carrefours - problèmes posés par les intersections des pistes cyclables avec la circulation générale : Mme Dubois-Taine

## vendredi 25 juin

Equipements concernant les piétons  
9 h 00 à 10 h 00  
Aménagement en faveur des piétons hors des zones piétonnes : Aménagement des carrefours et trottoirs - Cheminements - Equipements de sécurité : Mme Paris  
10 h 00 à 11 h 00  
Aménagement des zones piétonnes : Organisation générale - Mobilier urbain - Eclairage : Mme Paris  
11 h 15 à 12 h 00  
Bilan de la Session : M. Blondel

Cette session se déroulera à Paris. Les stagiaires auront à assurer personnellement leur hébergement.  
Les droits d'inscription sont fixés globalement à 1500 F. L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement.

# STATIONS D'ÉPURATION DU LITTORAL

22 au 24 juin

Aix-en-Provence

## Responsable :

M. Pervychine, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées au Service Central Hydrologique (SCH), Ministère de l'Équipement

## Conférenciers :

MM. Bebin (Degremont), de Bouard (SCH), Garancher (Ministère de la Qualité de la Vie), Laporte (Laboratoire de la Compagnie du Bas-Rhône et du Languedoc), Docteur Plissier (Laboratoire Municipal de Nice), Rodier (Mission spécialisée d'Inspection pour la lutte contre la pollution), de Rouville (Inspection pour la lutte contre la pollution marine et fluviale)

## mardi 22 juin

10 h 00 à 11 h 30  
Les Stations d'épuration du littoral et le rejet des effluents en mer - Généralités et aspects réglementaires : M. Pervychine  
11 h 30 à 13 h 00  
Présentation de stations d'épuration et de dispositifs de rejets en mer sur l'ensemble du littoral : M. Garancher  
14 h 30 à 16 h 00  
Les traitements physico-chimiques et leur intérêt - Quelques exemples : M. de Rouville  
16 h 30 à 18 h 00  
Les techniques de traitements physico-chimiques : M. Bebin

## mercredi 23 juin

9 h 00 à 13 h 00  
Visite de la station d'épuration de Bormes-les-Mimosas  
14 h 30 à 16 h 00  
La désinfection des effluents avant rejet : M. Rodier  
16 h 30 à 18 h 00  
Le devenir des virus en milieu aquatique : Dr Plissier

**jeudi 24 juin**

9 h 00 à 10 h 30

Le lagunage : M. Laporte

11 h 00 à 12 h 30

Les émissaires marins : M. de Bouard

Les droits d'inscription (y compris frais d'hébergement) sont fixés globalement à 1 500 F.

L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement qui ne devront verser à l'Association que leur participation aux frais d'hébergement se montant à 294 F.

## ÉCONOMIE GÉNÉRALE ET MÉTHODES ÉCONOMIQUES

24 et 25 juin - 13 au 15 septembre

Paris

**Animateur :**

M. Norre, Docteur ès-Sciences Économiques (Économie Publique), Diplômé de l'Institut d'Études Politiques (Service Public)

**Première partie****jeudi 24 juin**

9 h 30 à 12 h 30

L'Économie : ses agents, ses mécanismes de base (production, consommation, épargne, investissement)

La mesure des grandeurs économiques : éléments de statistiques et de comptabilité nationale (PIB, PNB, tableau d'échanges inter-industriels...).

14 h 00 à 18 h 00

Croissance et choix économiques

L'exemple du VI<sup>e</sup> Plan (travail en sous-groupes)**vendredi 25 juin**

9 h 30 à 12 h 30

Les trois secteurs : essai de typologie

L'équilibre économique et les principales théories (à partir de l'éclairage de l'actualité)

14 h 00 à 18 h 00

Croissance, développement et déséquilibre

Les facteurs de la croissance (travail en sous-groupes)

**Deuxième partie****lundi 13 septembre**

9 h 30 à 12 h 30

Le secteur public

Essai de typologie

Le « Rapport sur les entreprises publiques » (dit Rapport Nora)

Théorie du secteur public

14 h 00 à 18 h 00

L'utilité collective (travail en sous-groupes)

La notion de rentabilité

**mardi 14 septembre**

9 h 30 à 12 h 30

Éclairer les choix : analyse de systèmes PPBS et RCB

La RCB : Définition - L'étude pilote « Sécurité Routière » - Étude d'un exemple

14 h 00 à 18 h 00

L'état : budget et économie politique

L'État dans le circuit économique

Structure du budget de l'année en cours

Les maladies de l'Économie : chômage, inflation, récession

**mercredi 15 septembre**

9 h 30 à 12 h 30

L'État : budget et économie politique (suite)

L'État et la correction des déséquilibres monétaires

Généralités sur la politique budgétaire, fiscale et Conjoncture nationale et conjonctures des 21 régions

Le 7<sup>e</sup> Plan

14 h 00 à 18 h 00

Les échanges extérieurs : Le commerce extérieur de la France - Commerce mondial et système monétaire -

Crise de l'énergie et des matières premières : la « nouvelle donne » de l'économie mondiale

Cette session se déroulera à Paris. Les stagiaires auront à assurer personnellement leur hébergement.

Les droits d'inscription sont fixés globalement à 2 000 F. L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement.

## ÉQUIPEMENTS D'EXPLOITATION ET DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE EN MILIEU URBAIN : LES AUTOROUTES (CORRIDORS)

28 au 30 juin

Paris

**Responsable :**

M. Gien (SERES)

**Conférenciers :**

M. Bottet (SERES)

Mme Didier (SETRA)

MM. Le Dieu de Ville (SRERP), Ledru (SETRA), Leyrit (SRERP), Rechatin (SERES), Roques (SRERP), Saccuto (SRERP), Titieux (SETRA), Vila (SERES)

**lundi 28 juin**

Présentation générale des opérations corridors

9 h 00 à 9 h 30

Place des opérations corridors dans la politique de la Direction des routes (Historique, Avenir) : M. Gien

9 h 30 à 11 h 15

Descriptif des actions envisageables à l'aide des équipements dynamiques et des équipements inertes : MM. Ledru, Vila

11 h 30 à 12 h 30

Procédures administratives de réalisation : Présentation des différents guides existants - Documents à établir pour la réalisation de ces opérations - Organismes intervenant dans ces opérations : M. Rechatin

Les équipements

Présentation de certains équipements inertes

14 h 00 à 14 h 50

Aménagement des diffuseurs : M. Titeux

15 h 00 à 15 h 50

Marquage sur Autoroute Urbaine : M. Bottet

16 h 00 à 17 h 00

Isolement des obstacles latéraux : Mme Didier

**mardi 29 juin**

Présentation des équipements dynamiques

9 h 00 à 9 h 50

Contrôles d'accès : M. Leyrit

10 h 00 à 10 h 50

Détections automatiques d'incidents et télévision : M. Saccuto

11 h 00 à 12 h 00

Organisation d'un P.C. - Transmissions : M. Le Dieu de Ville

Étude critique d'un cas concret

14 h 00 à 17 h 00

Exposé du cas traité - Les problèmes techniques et administratifs rencontrés - Les problèmes de recette et de maintenance : MM. Le Dieu de Ville, Roques

17 h 00 à 17 h 30

Bilan de la Session : M. Gien

**mercredi 30 juin**

9 h 00 à 12 h 00

Visite d'une opération corridor : MM. Leyrit, Saccuto

Cette session se déroulera à Paris. Les stagiaires auront à assurer personnellement leur hébergement.

Les droits d'inscription sont fixés globalement à 900 F. L'E.N.P.C. prend directement en charge les frais pédagogiques des agents du Ministère de l'Équipement.



## L'ENTREPRISE INDUSTRIELLE

Entreprises électriques  
et travaux de génie civil

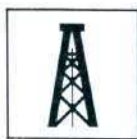
Siège social 29, rue de Rome, 75008 Paris  
Téléphone 387 50 90,

.LOOK



# SHELL FRANÇAISE

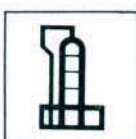
Des activités  
intéressant tous les domaines de  
L'INDUSTRIE DU PETROLE  
en France



EXPLORATION  
PRODUCTION



TRANSPORT  
MARITIME



RAFFINAGE



DISTRIBUTION

29, RUE DE BERRI - PARIS VIII<sup>e</sup>  
Tél. 256.82.82



SAGAL FAUCHET - 089

### société d'aménagement urbain et rural

- conception, installation, entretien, et exploitation de services de production et distribution d'eau potable, d'irrigation et d'assainissement
- exploitation des services de traitement d'ordures ménagères.

5, rue de Talleyrand 75007 PARIS  
tél. : 551.55.79

#### DIRECTIONS RÉGIONALES

- angoulême - annonay
- cahors - chalon-sur-saône
- compiègne - la rochelle
- la roche-sur-yon - pont-l'évêque
- pau - vannes.

SODEN  
Société de Distribution d'Eau de Nîmes

SODECI  
Société de Distribution d'Eau  
de la Côte-d'Ivoire (Abidjan)

SAUR-DAKAR - (Sénégal)

SAUR-AFRIQUE  
Etudes et Missions à l'étranger - Paris

## TRAITEMENT DE SOLS - STABILISATION EN PLACE - MISE HORS GEL

L'évolution des besoins, liée par ailleurs à des problèmes d'environnement, pousse depuis quelques années à étudier les possibilités de stabilisation de sols à l'aide de produits chimiques divers, plus ou moins appelés à se substituer aux infrastructures traditionnelles. Ces stabilisateurs chimiques doivent toutefois répondre à un minimum de critères précis, au premier rang desquels se trouvent naturellement l'amélioration mécanique des sols, la stabilité dans le temps, l'innocuité, la facilité de mise en œuvre, le coût, et bien sûr la garantie accompagnant le produit. D'autres critères comme la mise hors gel, l'augmentation de l'imperméabilité ou la possibilité de remanier ultérieurement les sols traités sont aussi à prendre en considération.

C'est après s'être fixé un cahier des charges sans concession que la Société C.E.T.E.M., à 93000 MONTREUIL, déjà réputée pour la qualité du matériel qu'elle diffuse par ailleurs, a retenu le stabilisateur chimique de sols REYNOLDS ROADPACKER 235 - R.R.P. Il s'agit en l'occurrence d'un produit chimique d'origine américaine possédant plus de quinze années d'expérience et faisant l'objet de plusieurs milliers de réalisations dans le monde, dont la route TRANSAMAZONIENNE.

C'est un produit liquide sulfoné sur base minérale naturelle, non toxique et non polluant, qui se met en œuvre par simple épandage en solution aqueuse. Son action est profonde, car il agit comme un catalyseur, c'est-à-dire qu'il déclenche une réaction sur son passage, mais ne se dépose pas dans le sol et reste actif. Cette réaction intéresse les particules fines actives d'origine minérale ou organique, quelle que soit la nature des sols. Elle est irréversible et s'accroît dans le temps, ce que prouvent les nombreuses et anciennes références. Les sols traités sont hors gel et à l'abri des remontées capillaires et de l'eau.



Sur cette plateforme de 15 000 m<sup>2</sup> faite en déblai/remblai à partir du terrain en place, et traitée au R.R.P. 235, il a été possible d'évoluer en permanence malgré les intempéries exceptionnelles de l'année 1974. Le sol argilo-calcaire comportant plus de 70 % de fines inférieures à 60 microns offre actuellement une tenue remarquable, bien que les surfaces extérieures n'aient reçu aucun revêtement. L'intérieur des ateliers est revêtu de béton et d'enrobé posés à même le sol traité au R.R.P.

L'augmentation de leurs caractéristiques mécaniques peut atteindre des niveaux exceptionnels, et permet de se dispenser de tout ou partie des couches de fondations traditionnelles, ce qui rend la méthode particulièrement économique.

Un point très important concerne la garantie d'efficacité du R.R.P., donnée par le fabricant sans aucune limite dans le temps. La mise en œuvre ne nécessite pas de restriction de circulation et le sol traité définitivement peut, à tout moment, être remanié. L'épandage du R.R.P. s'effectue à l'aide d'une tonne à eau avec rampe d'épandage. La matière première titrée à environ 20 % de teneur en produit pur est livrée en container plastique plombé accompagné d'un bulletin de garantie. Le dosage réalisé compte tenu du pourcentage de particules fines inférieures à 60 microns contenu dans le sol peut varier de 3 à 6 kg pour 100 m<sup>2</sup>, selon les sols. L'effet du produit est rapide. Après pénétration, le sol est alors compacté soigneusement et peut recevoir le revêtement convenant à son utilisation (empierrement, bi-couche, enrobé, béton).

Le R.R.P. fait dès lors l'objet d'un grand nombre de références en France, des chemins pour piétons les plus simples, aux parkings, aires industrielles, voiries lourdes, etc... et sa facilité de mise en œuvre ainsi que l'économie qu'il apporte dans la plupart des cas l'ont fait retenir par les entreprises les plus importantes, ainsi que par des administrations telles les D.D.E., D.D.A., S.N.C.F...

Sté C.E.T.E.M.  
41, bd Jeanne-d'Arc  
B.P. 122  
93102 Montreuil CEDEX  
TéL. 287.13.91

## JOURNÉE D'INFORMATION D'ALBARET S.A.



La Société ALBARET S.A. avait organisé, le 7 avril dernier, une journée fort sympathique d'information pour la presse technique.

Le Président Directeur Général, M. PARAMYTHIOTI, accueillit, le matin, les nombreux participants, dans l'agréable site du Château de Monchy, proche de Rantigny, où se trouve l'usine ALBARET. M. PARAMYTHIOTI, avec ses principaux collaborateurs : MM. de la SAYETTE, COLLET et GIRARD, notamment, fit l'historique de cette société spécialisée dans le matériel de compactage. Les exposés très vivants et fort intéressants, sur l'évolution de l'entreprise, ses fabrications successives, la situation actuelle de ses ventes en France et de ses exportations (et constructions sous licence à l'étranger), furent suivis des questions posées par les participants. Ceux-ci apprirent avec intérêt, entre autres choses, que pour les années 1974 et 1975, 75 % des ventes furent réalisées à l'exportation et que cette firme n'avait pas été touchée par la crise économique générale. Après un déjeuner très apprécié, dans les salons du château de Monchy, eut lieu la visite de l'usine et du bureau d'études de Rantigny.

Puis une démonstration, sur un terrain attenant à l'usine, permit aux journalistes de se rendre compte des possibilités et des performances techniques des derniers appareils.

En effet, l'année 1976 est marquée par EXPO-MAT, exposition à l'occasion de laquelle

ALBARET présente sa gamme de compacteurs à pneus, renforcée par un engin bas de gamme, très moderne, le PF.2 (14 tonnes sur 7 roues). Egalement, un nouveau tandem articulé statique, le TA.10 de 6-10 tonnes et une gamme de trois compacteurs vibrants comprenant le VA.10 (dérivé du précédent), le SISMOPACTOR TT900 et le SISMOPACTOR TT1600, nouveau représentant à très hautes performances, dans la gamme des « tandems transversaux », dont ALBARET a l'exclusivité.

Les deux photos qui illustrent ce texte montrent les invités de la presse technique au cours de la démonstration ; ils purent enfin, lors d'une dernière réunion avec la Direction de la Société ALBARET, faire la synthèse de cette journée avant de regagner Paris.

Un fait à souligner : la société ALBARET, dont l'effectif doit atteindre 400 personnes au cours de cette année, peut s'estimer bien armée pour affronter un marché mondial très concurrentiel, sans envisager dans l'immédiat de diversification en dehors des matériels de compactage.



ALBARET S.A.  
60290 RANTIGNY  
Tél. 473.06.84

## LE TRAITEMENT DES ORDURES MÉNAGÈRES

C'EST

**triga La**

33, avenue Maréchal-Joffre  
92000 NANTERRE  
Téléphone : 769-33-80  
Télex : SAGETOL 600 302 F

### COMPOSTAGE :

21 USINES  
4 000 tonnes/jour

### INCINERATION :

40 FOURS  
2 300 tonnes/jour

15 USINES EN CONSTRUCTION  
ACTUELLEMENT

## FONDASOL



### AVIGNON :

290, rue des Galoubets  
84140 AVIGNON-Montfavet  
B.P. 54 (84005) Avignon  
Tél. : (90) 31.23.96 (lignes gr.)  
Télex : 431 999 FONDASOL MTFAV

BUREAU D'ÉTUDES DE SOLS  
ET FONDATIONS  
SONDAGES - ESSAIS DE SOLS



Sondages en zone marécageuse

METZ : 1, rue des Couteliers  
57000 METZ-BORNY  
Tél. : (87) 75.41.82 (2 l. gr.)  
Télex : 860 695 FONDASOL METZ

CHALON-SUR-SAONE :  
19, rue Saint-Georges  
71100 CHALON-SUR-SAONE  
Tél. : (85) 48.45.80  
Télex : 800 368 FONDASOL CHALN

PARIS : 5 bis, rue du Louvre  
75001 PARIS - Tél. : 260.21.43 - 44  
Télex : 670 230 FONDASOL PARIS

NANTES : 76, avenue de la Morlière  
44700 ORVAULT - Tél. : (40) 76.12.12

## SOCIÉTÉ ROUTIÈRE DU MIDI

ÉMULSIONS DE BITUME  
TOUS TRAVAUX  
ROUTIERS

S.A. au capital de 2 000 000 F  
SIEGE SOCIAL  
LYON (2<sup>e</sup>) - 28, rue d'Enghien  
Tél. (78) 42.06.12

DIRECTION DES EXPLOITATIONS  
et USINE D'ÉMULSIONS DE BITUME

05001 GAP - B.P. 24  
Route de Marseille  
Tél. (92) 51.03.96  
Télex : ROUTMIDI 430 221

BUREAUX et DEPOTS

26101 ROMANS - B.P. 9

Tél. (75) 02.22.20

Télex : ROUTMIDI 345 703

Zone Industrielle  
13290 LES MILLES

Tél. (91) 26.14.39

Télex : ROUTMIDI 410 702

# RÉPERTOIRE DÉPARTEMENTAL DES ENTREPRISES

SUSCEPTIBLES  
D'APPORTER  
LEUR CONCOURS  
AUX ADMINISTRATIONS  
DES PONTS  
ET CHAUSSÉES  
ET DES MINES

ET A TOUS LES AUTRES  
MAITRES D'OUVRAGES PUBLICS  
PARAPUBLICS ET PRIVÉS

## 01 AIN

Concessionnaire des planchers  
et panneaux dalles « ROP »

**Les Préfabrications Bressanes**

01-CROTTET - R.N. 79 près de Mâcon  
Tél. 29 à Bagé-le-Châtel

## 05 HAUTES-ALPES

### SOCIÉTÉ ROUTIÈRE DU MIDI

Tous travaux routiers

Route de Marseille - 05001 GAP - B.P. 24  
Telex : ROUTMIDI 430221  
Tél. : (92) 61.03.96

## 13 BOUCHES-DU-RHÔNE

### SOCIÉTÉ ROUTIÈRE DU MIDI

Tous travaux routiers

Zone Industrielle - 13290 LES MILLES  
Tél. : (91) 26.14.39  
Telex : ROUTMIDI 410702

## ENTREPRISE DE MAÇONNERIE

**PHILIPPE SCHIANO**

Immeuble Méditerranée

Avenue de la Viguerie - 13260 CASSIS  
Tél. 01.07.00

## 20 CORSE

### ENTREPRISE DE TRAVAUX PUBLICS ET BATIMENTS

**RABISSONI s.a.**

Société anonyme au capital de 100.000 Francs  
Gare de Mezzana - Plaine de Peri  
20000 SARROLA-CARCOPINO

### SOCIÉTÉ T.P. ET BATIMENT Carrière de BALEONE

Ponte-Bonello par AJACCIO  
Tél. 27.60.20 Ajaccio

Vente d'agréats et matériaux de viabilité  
Tous travaux publics et Bâtiment

## 26 DROME

### SOCIÉTÉ ROUTIÈRE DU MIDI

Tous travaux routiers

Route de Mours  
26101 ROMANS - B.P. 9  
Télex : ROUTMIDI 345703  
Tél. : (75) 02.22.20

## 38 ISÈRE

- CHAUX VIVE
- CHAUX ÉTEINTE  
50/60 % Ch. Libre
- CHAUX SPÉCIALE pr enrobés  
20/30 % Ch. Libre
- CARBONATE DE CHAUX  
(Filler Calcaire)

Broyeur  
à boulets

**Sté de CHAUX et CEMENTS**  
38 - SAINT-HILAIRE DE BRENS

## 39 JURA

### Sté d'Exploitations et de Transports PERNOT

Préfabrication - Béton prêt à l'emploi  
Rue d'Ain, 39-CHAMPAGNOLLE Tél. 83

**Sté des carrières de Moisse**  
39-MOISSEY

## 59 NORD

### Ets François BERNARD et Fils

MATÉRIAUX DE VIABILITÉ :

Concassés de Porphyre, Bordures, Pavés en  
Granit, Laitier granulé, Sables.

50, rue Nicolas-Leblanc - LILLE  
Tél. : 54-66-37 - 38 - 39

## 62 PAS-DE-CALAIS

### BEUGNET

(Sté Nouvelle des Entreprises)

S.A. au Capital de 5.200.000 F

### TRAVAUX PUBLICS

53, bd Faidherbe - 62000 ARRAS

## 63 PUY-DE-DÔME

### BÉTON CONTRÔLE DU CENTRE

191, a. J.-Mermoz, 63-Clermont-Ferrand  
Tél. : 92-48-74.

Pont de Vaux, 03-Estivareilles  
Tél. : 06-01-05.

BÉTON PRÊT A L'EMPLOI

Départ centrale ou rendu chantiers par  
camions spécialisés « Trucks Mixers »

## 67 BAS-RHIN

EXPLOITATION DE CARRIÈRES DE GRAVIERS  
ET DE SABLES -- MATÉRIAUX CONCASSÉS

### Gravière du Rhin Sessenheim

S.A.R.L. au Capital de 200.000 F

Siège social : 67-SESSENHEIM

Tél. : 94-61-62

Bureau : 67-HAGUENAU, 13, rue de l'Aqueduc  
Tél. : 93-82-15

## 76 SEINE-MARITIME

### PLASTI-CHAPE

Route de Darnétal - MESNIL-ESNARD 76

- Revêtements routiers anti-dérapants
- Enrobés spéciaux
- Signalisation horizontale
- Revêtements de sols industriels

### snammi

Siège Social : Quai Bas de l'Escure

76920 AMFREVILLE-LA-MIVOIE

B.P. n° 4 - Tél. (35) 70.82.64 +

MATÉRIELS DE TRAVAUX PUBLICS

LOCATION - MANUTENTION

Poclain (pelles) - P.P.M. (grues manutention)  
CMC (chargeurs) - Bomag (rouleaux vibrants)  
Ingersoll rand (compresseurs) - Neyrpic  
Ponts Jumeaux (carrières)

### SOCIÉTÉ NORMANDE DU CIMENT MOULÉ

83, rue de la Motte  
76140 LE PETIT-QUEVILLY  
Tél. 72.29.61

CLOTURES BETON ET GRILLAGE  
ELEMENTS BETON VIBRE

## 93 SEINE-SAINT-DENIS

### s.a.r.l. DEVAUDEL

FOURNITURES  
INDUSTRIELLES

73-75, rue Anselme - 93400 SAINT-OUEN  
Tél. 254.80.56 +

## 94 VAL-DE-MARNE

ENTREPRISES

### QUILLERY SAINT-MAUR

GÉNIE CIVIL — BÉTON ARMÉ

— TRAVAUX PUBLICS —

8 à 12, av. du 4-Septembre - 94100 Saint-Maur  
Tél. 883.49.49 +

## FRANCE ENTIÈRE



Compagnie Générale  
des Eaux

Exploitation : EAUX  
ASSAINISSEMENT  
ORDURES MÉNAGÈRES  
CHAUFFAGE URBAIN

52, rue d'Anjou - 75008 PARIS - Tél. 265 51 20



# RINCHEVAL

SOISY-SOUS-MONTMORENCY (Val-d'Oise) - Tél. : 989.04.21 +

TOUS MATERIELS DE **STOCKAGE, CHAUFFAGE ET EPANDAGE**  
DE **LIANTS HYDROCARBONES**

## ÉPANDEUSES avec rampe

- Eure et Loir
- Jets multiples à commande pneumatique

## POINT A TEMPS

- Classiques
- Amovibles
- Remorquables



Equipement épandeur à transmission hydrostatique et rampe à commande pneumatique

## STOCKAGE et RÉCHAUFFAGE de liants :

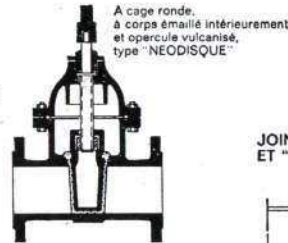
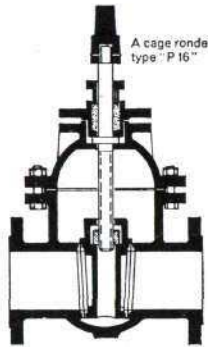
- Citernes mobiles
- Spécialistes de l'équipement des installations fixes

(300 réalisations)

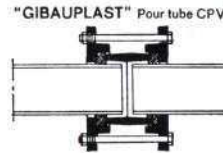
DEPUIS 1911, LES ETABLISSEMENTS RINCHEVAL CONSTRUISENT DES MATERIELS D'EPANDAGE

# TOUT CE QUI CONCERNE LA ROBINETTERIE ET LA FONTAINERIE POUR ADDUCTION D'EAU

## ROBINETS VANNES



## JOINTS "PERFLEX" ET "PRESTOPLAST"



## GARNITURE DE ROBINETS VANNES

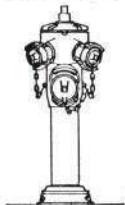
- Cloches
- Tubes à colierette
- Bouches à clé
- Tiges de manoeuvre



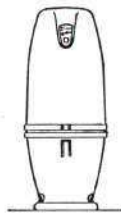
- Pour tuyaux:
- Fonte
  - Acier
  - Amiante-ciment
  - CPV

## POTEAUX D'INCENDIE

A prises apparentes types "22 B" et "VEGA"



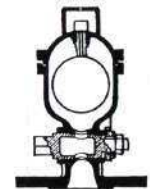
A prises sous coffre type "ORION"



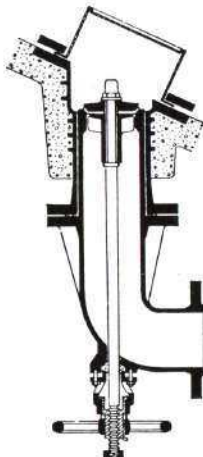
## BOUCHES D'INCENDIE



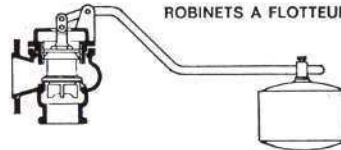
## VENTOUSES AUTOMATIQUES à boule



## SOUPAPE DE VIDANGE



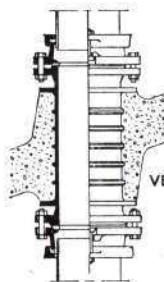
## ROBINETS A FLOTTEUR



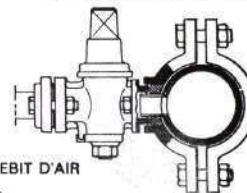
## VANNES MURALES



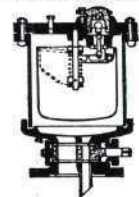
## GAINES ETANCHES



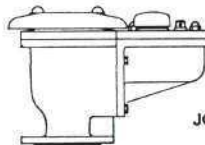
## ROBINETS ET VANNES DE BRANCHEMENT BRANCHEMENTS "SECUR"



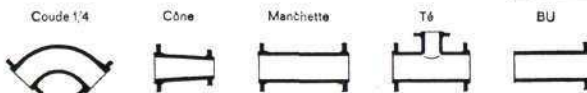
## VENTOUSES "EUREKA" Simples et à grand débit d'air



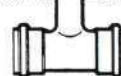
## VENTOUSE "M 31" A GRAND DEBIT D'AIR



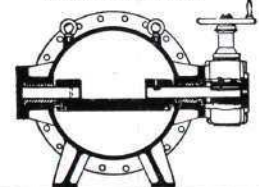
## PIECES DE RACCORD A BRIDES



## TE "FTB" A JOINT AUTOMATIQUE Pour CPV



## VANNES PAPILLON



(extraits de notre album)

# SOCIETE METALLURGIQUE HAUT-MARNAISE

B.P. 24 • 52300 JOINVILLE • TEL. (16-27-95-91-11) 320