

# La Presse Thermale et Climatique

## **JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LE THERMALISME AUX ANTILLES**

Organe officiel  
de la Société  
Française d'Hydrologie  
et de Climatologie Médicales



Expansion Scientifique Française

# Bourbon- l'Archambault

Cité Thermale

Indications de Bourbon-L'Archambault

Docteur André PAJAUT

Action physiologique des eaux thermales

Les sources de Bourbon

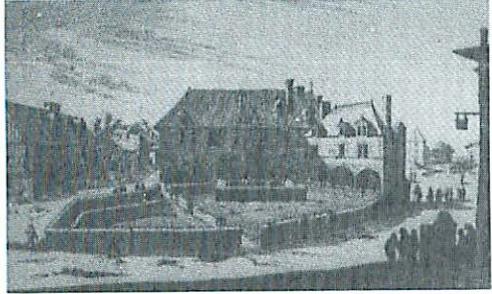
Origine des eaux thermales

Les thermes de Bourbon-L'Archambault  
à travers les âges

A. PAJAUT

## Bourbon- l'Archambault

Cité Thermale



© Expansion Scientifique Française

1 volume 16 x 22,5  
64 pages  
illustrations  
Prix public TTC = 50 F  
Franco domicile = 58 F

En vente chez votre libraire spécialisé habituel, ou par correspondance, à **L'Expansion Scientifique Française**

### BULLETIN DE COMMANDE

Nom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

à retourner à : **L'Expansion Scientifique Française**  
Service Diffusion  
15, rue Saint-Benoît  
75278 Paris Cedex 06

vous commandez .....ex. de "Bourbon-L'Archambault, cité thermale", au prix de : 58 F franco domicile  
règlement joint :  chèque bancaire  chèque postal CCP 370.70.Z. Date \_\_\_\_\_

Signature :

# La Presse Thermale et Climatique

ORGANE DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'HYDROLOGIE  
ET DE CLIMATOLOGIE MÉDICALES

*Ancienne GAZETTE DES EAUX*

Fondateur : Victor GARDETTE †

## COMITÉ DE PATRONAGE

Professeur F. BESANÇON. – P. BAILLET †. – Professeur M. BOULANGÉ. – Doyen G. CABANEL – J. CHAREIRE. – Professeur CORNET. – Professeur Agrégé V. COTLENKO. – H. DANY. – A. DEBIDOUR. – Professeur C. DELBOY. – Professeur Y. DENARD. – Professeur P. DESGREZ. – Professeur J.J. DUBARRY. – Professeur P. DUCHÈNE-MARULLAZ. – Professeur M. FONTAN †. – Professeur L. JUSTIN-BESANÇON †, Membre de l'Académie de Médecine. – Professeur Cl. LAROCHE. – P. MOLINERY. – Professeur J. PACCALIN. – J. PASSA. – P.M. de TRAVERSE.

## COMITÉ DE RÉDACTION

Rédacteur en chef honoraire : Jean COTTET, membre de l'Académie de Médecine.

Rédacteur en chef : J. FRANÇON. Secrétaire de Rédaction : R. JEAN.

Allergologie : P. FLEURY. – Biologie : P. NEPVEUX, F. LARIEU. – Cardiologie et Artériologie : C. AMBROSI, J. BERTHIER. – Dermatologie : P. GUICHARD DES AGES, P.L. DELAIRE. – Etudes hydrologiques et thermales : B. NINARD, R. LAUGIER. – Gynécologie : G. BARGEAUX, Ch. ALTHOFFER-STARCK. – Hépatologie et Gastroentérologie : G. GIRAUT, J. de la TOUR, Cl. LOISY. – Néphrologie et Urologie : J.M. BENOIT, J. THOMAS. – Neurologie : H. FOUNAU. – Nutrition : A. ALLAND. – Pathologie ostéo-articulaire : F. FORESTIER, J. FRANÇON, A. LARY, R. LOUIS. – Pédiatrie : J.L. FAUQUERT, R. JEAN. – Phlébologie : R. CAPODUR, R. CHAMBON, C. LARY-JULLIEN. – Psychiatrie : J.C. DUBOIS, L. VIDART. – Voies respiratoires : C. BOUSSAGOL, R. FLURIN, J.M. DARROUZET. – Stomatologie : Ph. VERGNES. – Thermalisme social : G. FOUCHE.

## COMITÉ MÉDICAL DES STATIONS THERMALES

Docteurs A. DELABROISE, G. EBRARD, C.Y. GERBAULET, J. LACARIN.

*Les opinions exprimées dans les articles ou reproduites dans les analyses n'engagent que les auteurs.*



Éditeur : EXPANSION SCIENTIFIQUE FRANÇAISE

15, rue Saint-Benoît – 75278 PARIS CEDEX 06

Tél. (1) 45.48.42.60 – C.C.P. 370-70 Paris

### TARIFS DE L'ABONNEMENT

4 numéros par an

FRANCE : 260 F ; Etudiants, CES : 135 F

ETRANGER : 330 F ; Etudiants, CES : 200 F

Prix du numéro : 86 F

# RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

la Presse Thermale et Climatique publie des articles originaux concernant le thermalisme et le climatisme, et des travaux présentés devant la Société Française d'Hydrologie et de Climatologie médicales et éventuellement devant une autre société d'Hydrologie, soit sous forme de résumés soit sous forme intégrale. La Presse Thermale et Climatique présente également des informations générales concernant le climatisme et le thermalisme ainsi que des informations sur la vie des stations.

## CONDITIONS DE PUBLICATION

Les articles originaux, ainsi que le texte intégral des communications à une Société d'Hydrologie ne peuvent être publiés qu'après avis d'un Comité de Lecture.

La longueur du manuscrit, non comprises les références bibliographiques et l'iconographie, ne peut dépasser 8 pages dactylographiées (double interligne). Les textes doivent être rédigés en français, sauf exception motivée par l'importance scientifique du texte auquel un résumé en français devra être alors obligatoirement associé. Seul le Comité de Rédaction peut décider de l'opportunité de cette publication.

Les manuscrits en *triple exemplaire* (y compris les figures et les tableaux) doivent être adressés au secrétariat de rédaction de la Presse Thermale et Climatique. Les articles ne doivent pas être soumis simultanément à une autre revue, ni avoir fait l'objet d'une publication antérieure.

## PRÉSENTATION DES TEXTES

### Manuscrit

– *Trois exemplaires* complets du manuscrit dactylographié en double interligne avec une marge de 5 cm à gauche et une numérotation des pages doivent être fournis.

– Le *titre* précis doit être indiqué sur une page à part qui doit comporter également les noms des auteurs et les initiales de leurs prénoms. Sur la page de titre figurera le nom de la Station ou du Centre de Recherche, le nom et l'adresse complète de la personne qui est responsable de l'article, et les mots clés en français et en anglais choisis si possible dans l'Index Medicus.

### Références

Elles doivent être classées par ordre alphabétique, numérotées et tapées en double interligne sur une page séparée ; il ne sera fait mention que des références qui sont appelées dans le texte ou dans les tableaux et figures, avec le même numéro que dans la page de références.

Pour les articles, on procédera de la façon suivante :

- nom des auteurs suivi de l'initiale du ou des prénoms (s'il y a plus de trois auteurs, on peut remplacer les noms par : et coll.) ;
- titre du travail dans la langue originale ;
- nom de la revue si possible en utilisant les abréviations de l'Index Medicus ;
- année, tome (ou vol.), pages (première et dernière).

Exemple :

Grandpierre R. – A propos de l'action biologique de la radioactivité hydro-minérale. *Presse therm. clim.*, 1979, 116, 52-55.

Pour les ouvrages :

- nom des auteurs suivi de l'initiale du ou des prénoms ;
- titre de l'ouvrage dans la langue originale avec mention éventuellement du numéro de l'édition ;
- ville d'édition, nom de l'éditeur, année de parution.

Exemple :

Escourou G. – *Climat et environnement*. Paris, Masson, 1989.

Pour un chapitre dans un ouvrage :

- nom des auteurs suivi de l'initiale du ou des prénoms ;
- titre de l'article dans la langue originale. Ajouter *In* : nom de l'auteur, initiale du ou des prénoms, titre du livre, pages de l'article ;
- ville d'édition, nom de l'éditeur, année de parution.

Exemple :

Merlen J.F. – Les acrosyndromes. *In* : Caillé J.P., *Phlébologie en pratique quotidienne*, pp. 505-542. Paris, Expansion Scientifique Française, 1982.

### Abréviations

Pour les unités de mesure et de chimie, elles doivent être conformes aux

normes internationales ; pour les mots, l'abréviation doit être indiquée à leur premier emploi, entre parenthèses. S'il y a trop d'abréviations, elles doivent être fournies sur une page séparée.

### Figures et tableaux

Les illustrations doivent être limitées à ce qui est nécessaire pour la compréhension du texte.

Les illustrations doivent être appelées dans le texte par leur numéro (en chiffre arabe pour les figures, en chiffre romain pour les tableaux).

Chaque tableau ou figure constitue une unité qui doit être compréhensible en soi, sans référence au texte.

Chaque figure doit être numérotée au dos ; le haut et le bas, ainsi que le titre abrégé et les limites à reproduire doivent y être indiqués au crayon doux, ou mieux sur une étiquette au dos.

Les figures doivent être tirées sur papier glacé, bien contrastées. Nous acceptons des dessins même imparfaits, ils seront redessinés et vous seront soumis avant clichage ; nous n'acceptons pas les diapositives sauf pour les coupes histologiques.

Si une figure est empruntée à un autre auteur ou à une autre publication, l'autorisation de reproduction doit être obtenue auprès de l'éditeur et de l'auteur.

Les légendes des figures doivent être dactylographiées dans l'ordre sur feuille séparée.

Chaque tableau doit être dactylographié en double interligne sur une feuille à part (un tableau par feuille). Le numéro du tableau et de la légende seront dactylographiés au-dessus du tableau.

Les abréviations utilisées dans les tableaux, les figures ou leurs légendes doivent être définies à chaque tableau ou figure.

### Résumés

Les résumés, qu'ils accompagnent un article original ou qu'ils soient fournis seuls (cas des communications à la Société d'Hydrologie qui n'ont pas été soumises au comité de lecture) doivent être fournis en *triple exemplaire*. Ils doivent comporter un maximum de 250 mots sans abréviation ni référence. Les auteurs doivent fournir si possible un résumé en anglais représentant une traduction du résumé français.

# La Presse Thermale et Climatique

## SOMMAIRE

### JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LE THERMALISME AUX ANTILLES

Guadeloupe : 10-12 décembre 1990

Martinique : 13-15 décembre 1990

Avant-propos, par F. Tayeau .....	123
Discours prononcé à l'occasion de la Fête de l'Eau. Ravine Chaude-Lamentin, 8, 9, 10 décembre 1990, par J. Toribio .....	125
Dolé-les-Bains. Historique et perspectives actuelles, par J.C. Pitat .....	127
Approche d'une mise en valeur diversifiée du patrimoine hydrominéral guadeloupéen, par M.N. Blanquier .....	132
Projet éolien. Rapport de synthèse, par I. Bibault-Fontès, C. Cavallaro, G. Cimino, R. Laugier .....	135
Le gisement thermal. Nouvelles techniques de captages, par M. Lopoukhine .....	144
Development of thermal and mineral waters and protection from pollution sources including touristic activities, by C. Garagunis .....	153
L'ingénierie dans le thermalisme, par J.C. Carrié .....	158
Les réseaux martiens : exemple d'une exohydrologie, par N.A. Cabrol .....	161
Prise en charge de l'énucléation en milieu thermal. Saison 1989, par P. Jeambrun, E. Demolombe, E. Gilles, M. Lacroix .....	176
Spa treatment of degenerative arthropathies, by B. Messina .....	183
Réalités et spécificités de la prise en charge des soins thermaux par la Caisse Générale de Sécurité Sociale de la Martinique, par C. Fall .....	189
Les bonnes pratiques d'exploitation des eaux minérales dans un établissement thermal, par G. Popoff .....	192
Principales indications de la thalassothérapie en rhumatologie, par J. Paccalin, P. Obel, H. Dabadie, J. Canellas .....	202
Les sources géothermales et sulfurées de Barèges, par R. Laugier, I. Dire-Mine, B. Bourdeau, P. Dusautoy, Ch. F. Lemaitre .....	205
Les micro-organismes des eaux thermales de Barèges (Hautes-Pyrénées), par A. Couté, L. Laugier, I. Dire, B. Gegu .....	216
Energiegewinnung aus Thermal-Mineral-Quellwasser unter besonderer Berücksichtigung des Schutzes der Umwelt und der Ressourcen in Bad Aidipsos, Zentral-Griechenland, bei C. Garagunis, O. Tack .....	222
Liste des travaux présentés aux Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles non publiés dans ce numéro .....	228

Ce numéro a été coordonné par le Professeur R. Laugier.

Docteur Jean-Claude Dubois

# L'EAU ET LES MALADIES NERVEUSES

L'hydrothérapie a-t-elle encore une place en psychiatrie à l'heure des traitements biologiques, des psychotropes, de la psychanalyse et des modalités diverses de psychothérapies qui en sont issues ?

J.-C. DUBOIS montre que, contrairement à ce qu'il peut sembler de prime abord, ce traitement conserve un intérêt chez un grand nombre de malades à qui ces thérapeutiques récentes ne procurent qu'une amélioration insuffisante sinon, chez certains d'entre eux, nulle. Il en est ainsi de nombreux états névrotiques et de certains états psychotiques que ces thérapeutiques n'améliorent que partiellement, laissant des symptômes résiduels sur lesquels l'hydrothérapie a, le plus souvent, un effet précieux.

Ce traitement est étudié au plan historique, biologique et clinique.

(1 volume 14,3 x 21,376 pages, Prix Public TTC = 150 F  
(Franco domicile = 168 F)

Bulletin de commande  
à retourner à :

**L'Expansion Scientifique Française**  
Service Diffusion  
15, rue Saint-Benoît  
75278 Paris Cedex 06

Nom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

commande ..... ex. de l'ouvrage "l'eau et les maladies nerveuses"  
au prix de 168 F Franco domicile.

règlement joint : \_\_\_\_\_

ISBN-2-7046-1387-7

chèque bancaire    chèque postal CCP 370-70-Z Paris

# La Presse Thermale et Climatique

1992, 129, n° 3, 123-228

## CONTENTS

INTERNATIONAL CONFERENCE  
ON  
THERMALISM IN THE ANTILLES  
Guadeloupe : December 10-12 1990  
Martinique : December 13-15 1990

Foreword, by F. Tayeau .....	123
Speech made on the occasion of the Fête de l'Eau (Water Festival), Chaude-Lamentin Ravine : December 8, 9, 10 1990, by J. Toribio .....	125
Dolé-les-Bains : history and current prospects, by J.C. Pitat .....	127
Policy for the varied exploitation of Guadeloupe's hydromineral inheritance, by M.N. Blanquier.	132
Eolian project. Summary report, by I. Bibault-Fontès, C. Cavallaro, G. Cimino, R. Laugier .....	135
Thermal water field : the new catchment techniques, by M. Lopoukhine .....	144
Development of thermal and mineral waters and protection from pollution sources including touristic activities, by C. Garagunis .....	153
Engineering and thermalism, by J.C. Carrié .....	158
Martian channels : a case for an exohydrology, by N.A. Cabrol .....	161
Enuresis treatment with thermal environment (Lons-le-Saunier - Jura), by P. Jeambrun, E. Demolombe, E. Gilles, M. Lacroix .....	176
Spa treatment of degenerative arthropathies, by B. Messina .....	183
Realities and specificities of the refunding of spa therapy costs by the Martinique Social Security Organisation, by C. Fall .....	189
Good practices of mineral water exploitation in therapeutic establishment, by G. Popoff .....	192
Main indications of sea water therapy in rhumatology, by J. Paccalin, P. Obel, H. Dabadie, J. Canellas .....	202
Geothermal and sulfur springs at Barèges, by R. Laugier, I. Dire-Mine, B. Bourdeau, P. Dusautoy, Ch. F. Lemaitre .....	205
Micro-organisms in thermal waters at Barèges (Hautes-Pyrénées), by A. Couté, R. Laugier, I. Dire, B. Gegu .....	216
Use of energy from geothermal springs and protection of springs against overexploitation. Example of Bad Aidipsos (Greece), by C. Garagunis, O. Tack .....	222

# UNE SANTE DE PRINTEMPS

**D**ans les Stations Eurothermes, retrouvez les bienfaits des cures thermales sur la santé de vos patients. Donnez-leur rendez-vous avec le printemps toutes saisons !

## AIX EN PROVENCE

BOUCHES DU RHÔNE  
Rhumatologie - Phlébologie  
Gynécologie

## BAGNERES DE BIGORRE

HAUTES PYRÉNEES  
Rhumatologie

Affections psychosomatiques  
ORL / Voies respiratoires

## LA BOURBOULE

AUVERGNE  
ORL / Voies respiratoires - Dermatologie  
Troubles de croissance

## CAPVERN

HAUTES PYRÉNEES  
Troubles de la nutrition  
(obésité - diététique) - Appareil urinaire  
Appareil digestif - Rhumatologie

## CAUTERETS

HAUTES PYRÉNEES  
ORL / Voies respiratoires - Rhumatologie

## CHATEL GUYON

ALVERGNE  
Maladies métaboliques - Appareil digestif  
Appareil urinaire - Gynécologie

## CILAOS

ILE DE LA RéUNION  
Rhumatologie - Maladies métaboliques

Appareil digestif

## DIGNE LES BAINS

ALPES DE HAUTE PROVENCE  
Rhumatologie - ORL / Voies respiratoires

## LES EAUX BONNES

PYRÉNEES ATLANTIQUES  
ORL / Voies respiratoires

Rhumatologie (en cours d'agrément)

## ROCHEFORT SUR MER

CHARENTE - MARITIME

Rhumatologie - Dermatologie - Phlébologie

## CALDAS DA FELGUEIRA

PORTUGAL

ORL / Voies respiratoires - Rhumatologie

**EUROTHERMES**

LE RENDEZ-VOUS SANTE



## LES GARANTIES EUROTHERMES

### UN THERMALISME MODERNE

Prescrit et appliqué sous contrôle médical, avec des techniques éprouvées dans des Etablissements rénovés, adaptés à toutes les évolutions technologiques.

### UN THERMALISME DE REFERENCE

Grâce à une recherche scientifique :

- Fondamentale : qui perfectionne la connaissance des propriétés des Eaux Thermales.
- Appliquée : qui évalue, en liaison avec le Corps Médical de la Station, l'efficacité des traitements thermaux.

### UN THERMALISME DE QUALITÉ

Qualité des soins dispensés par un personnel expérimenté.

Qualité des eaux régulièrement analysées et méthodiquement contrôlées.

Qualité des équipements divers. Qualité de l'accueil.

Une documentation gratuite vous sera adressée sur simple demande à :  
EUROTHERMES, 87, av. du Maine - 75014 PARIS - Tél. 43 27 12 50

DOCTEUR

SPECIALITE

ADRESSE

TEL

J VILLE

AIX EN PROVENCE  BAGNERES DE BIGORRE  LA BOURBOULE  CAPVERN   
CAUTERETS  CHATEL GUYON  CILAOS  DIGNE LES BAINS  LES EAUX BONNES   
ROCHEFORT SUR MER  CALDAS DA FELGUEIRA

PTC91



## Avant-propos

Le thermalisme a connu un succès très notable dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, ce succès s'est confirmé et même considérablement renforcé au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Dans ce domaine, la France occupe une situation particulièrement enviable par le nombre et la variété de ses stations.

Les cures thermales, complétées parfois par la cure climatique, se sont heurtées, comme beaucoup de thérapeutiques, à de nombreux opposants. Les résultats obtenus au cours de diverses affections et les études épidémiologiques effectuées ont fini par s'imposer et être reconnus par les organismes officiels : depuis longtemps déjà, les facultés de médecine et les facultés de pharmacie ont créé des chaires d'hydrologie.

Le thermalisme est à présent bien organisé ; aucun centre thermal ne peut être exploité sans que des enquêtes précises aient été réalisées et sans l'avis du Conseil supérieur d'Hygiène et de l'Académie nationale de Médecine.

Pendant longtemps, l'efficacité des cures thermales a relevé presque exclusivement de constatations empiriques ; il n'en est plus de même aujourd'hui, car, dès le début du siècle, les eaux, de préférence prises au griffon, ont fait l'objet d'études chimiques, biologiques, épidémiologique et expérimentales (rappelons à ce sujet les expériences classiques de Billard sur l'anagotoxie), que sont venu compléter plus tard les études hydro-géologiques. Peu à peu, une partie des observations empiriques a fait place aux études scientifiques.

Le thermalisme mondial se trouve réuni au sein de la Fédération internationale, à la tête de laquelle se trouve le docteur Guy Ebrard, dont la notoriété a dépassé depuis longtemps le cadre de notre pays.

Les Antilles françaises, en particulier la Guadeloupe et la Martinique, ne pouvaient pas rester en retrait de la métropole et cela d'autant plus que leur sol recèle de nombreuses sources, dont certaines seulement ont été exploitées. Doté d'un corps médical de qualité, puis de chercheurs chevronnés, le thermalisme antillais s'est trouvé bien valorisé et, à ce sujet, il convient de rendre hommage à M. Jean-Jacques

Jérémie et à Mme Hélène Pascaline, qui, au sein du laboratoire de volcanologie de la Faculté des sciences de Pointe-à-Pitre, ont apporté une efficace contribution au problème. Mentionnons encore à ce sujet l'existence de l'Association pour la promotion du thermalisme aux Antilles, qui siège à la Faculté des sciences.

Il était donc tout naturel qu'une réunion scientifique groupant de nombreux spécialistes eût lieu aux Antilles, dans ces territoires en pleine expansion.

Cette réunion, intitulée « Journées internationales sur le thermalisme aux Antilles » fut présidée par le Dr Guy Ebrard, qui fit profiter de son extrême compétence et de sa grande expérience les participants de cet important congrès, organisé justement par M. Jérémie, Mme Pascaline et leurs collaborateurs, qui n'ont pas ménagé leur peine pour que cette réunion connût un réel succès.

L'Académie Nationale de Médecine, dont le rôle et les travaux de recherche en matière de thermalisme restent primordiaux, avait été invitée ; elle avait délégué trois de ses membres pour la représenter.

Il était indispensable que ce congrès, au cours duquel des travaux de qualité furent présentés, connût un prolongement. Celui-ci est constitué par ce fascicule, que j'ai l'honneur de présenter et qui relate les travaux exposés.

Cependant, il est de règle, si l'on souhaite que cette plaquette obtienne une bonne diffusion, que les publications soient examinées par un Comité de lecture, qui juge de l'opportunité de leur présentation imprimée et qui, le cas échéant, demande aux auteurs des explications et des précisions.

Pour ce Comité de lecture, le bureau du Congrès a fait appel aux trois membres de l'Académie de Médecine présents : MM. Francis Tayeau, Claude Laroche et Gabriel Blanchet.

Mais si, à des titres différents, ces personnalités ont pu porter un jugement faisant appel aux données classiques du thermalisme, aucune d'elles ne se trouvait en mesure de fournir un avis sur les données scientifiques nouvelles et surtout sur l'hydrogéologie, qui aujourd'hui constitue un élément primordial pour le thermalisme. Aussi ce Comité a fait appel au spécialiste incontesté de cette science, M. Raymond Laugier,

professeur honoraire à l'Université de Paris-Sud (Centre pharmaceutique de Châtenay-Malabry).

Au plan du thermalisme qui nous préoccupe aujourd'hui, nous lui devons d'avoir été, il y a plus de vingt années déjà, le premier à associer la démarche analytique à son antithèse : l'agrégation de la poussière des résultats dans le concept hydrogéochimique.

L'eau minéralisée, quelquefois géothermale par surcroît, est en effet à l'image d'un médicament galénique, le véhicule de minéraux dont le nombre et la diversité sont deux paramètres qui pourraient sembler insaisissables.

Le mérite de M. Laugier est d'avoir intégré les données de l'analyse dans le calcul de l'équilibre des solutions aqueuses, tenu compte des synergies comme des

antagonismes, de sorte que la reconstitution minéralogique prend toute sa valeur, même si, à l'évidence, l'ionisation est totale.

Sans M. Laugier, le Comité de lecture n'aurait jamais pu mener à bien la tâche qui lui avait été confiée. M. Laugier, avec la rigueur, la précision et l'immense culture que nous lui connaissons, a analysé chaque travail et a bien facilité les décisions du Comité de lecture. Il est juste de lui rendre un hommage reconnaissant pour la contribution de qualité qu'il nous a apportée.

Professeur F. TAYEAU,  
Ancien Président de  
l'Académie Nationale de Médecine,  
Président du Comité de lecture.



# Discours prononcé à l'occasion de la Fête de l'Eau

## Ravine Chaude-Lamentin, 8, 9, 10 décembre 1990

Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs,

En consacrant avec nous ici même, à Ravine Chaude, à la fête de l'eau, première du genre qui se tient dans la même mouvance d'énergies que celle des Journées Internationales du Thermalisme, il m'est réellement difficile d'éviter de vous faire partager notre foi et de vous entretenir des espoirs que nous nourrissons pour notre Commune du Lamentin.

En effet, elle est un espace où se sont déroulés des moments qui ont marqué et fait l'Histoire, un espace d'une centralité économique et géographique dans le Nord de la Basse-Terre qu'il convient de prendre en compte désormais dans toute réflexion de quelque nature que ce soit.

Mitoyenne des territoires de Sainte-Rose à l'est et de Baie-Mahault à l'ouest et très partiellement de Petit-Bourg au sud, assise entre la chaîne montagneuse (principalement la Grosse-Montagne) et le grand Cul-de-Sac Marin qui s'échoue à la Baie de Blachon, la Commune du Lamentin couvre une *superficie* de 65,6 kilomètres carrés, insérée dans la plaine fertile qui porte son nom, traversée par de nombreuses rivières ou ravines dont la plus connue est la Grande Rivière à Goyave.

Cinquième commune par son étendue, Le Lamentin n'occupe que le douzième rang du point de vue de la *population* recensée en 1990 avec ses 11 334 habitants, soit une densité d'environ 173 habitants au kilomètre carré contre un coefficient de 214 pour l'ensemble du territoire Guadeloupéen<sup>1</sup>. Il s'agit d'une population jeune dont nous partageons les inquiétudes et les plus vives craintes, compte tenu de la très faible dynamique du marché de l'emploi.

C'est au bénéfice de cette population que de grands efforts ont été accomplis d'une part depuis le 28 mars 1989, depuis le 4 août 1990 d'autre part, notamment

du point de vue du réseau routier, d'infrastructures scolaires et parascolaires et de l'informations des services municipaux. *Bien plus, notre Conseil Municipal a déjà délibéré sur la rénovation d'une vingtaine de bâtiments comprenant la totalité des établissements scolaires.*

*C'est aussi dans ce contexte que l'Assemblée Communale a pu, grâce aux prévisions budgétaires de l'exercice 1989 et à l'excédent de gestion du même exercice supérieur à 3 millions de francs, tandis que dans le même temps étaient réglés des engagements communaux antérieurs, délibéré favorablement sur une opération de totale rénovation et d'aménagement de la station de Ravine Chaude qui avoisine 9 millions de francs.*

*Ce montant fera très certainement, après conclusion d'études, l'objet de compléments budgétaires en 1991, tant il est vrai qu'il devient nécessaire d'asseoir au mieux le développement futur de la station dans les douze prochaines années.*

Ravine Chaude, *la fierté de René Toribio*, construite sans un seul denier étranger à la Caisse Communale, Ravine Chaude que *seul Le Lamentin a payée, Ravine Chaude jamais rénovée, délaissée, oubliée malgré ses charges d'Histoire, depuis les longues batailles juridiques des années 1950 et 1960, de consultations ministérielles en Cour de Cassation, à la Délibération du 14 avril 1960 approuvée le 31 août 1960 par laquelle le Conseil Municipal décidait de confier l'étude, la direction et la surveillance des travaux au service du Génie Rural, en passant par les procédures longues et ralenties par les détracteurs de Ravine Chaude, Ravine Chaude en déshérence depuis 20 ans, mais aujourd'hui ressuscitée par la Jeunesse du Lamentin et de la Guadeloupe, retrouvera ses capacités, par la volonté municipale, de pouvoir devenir une station de dimension internationale.*

Dans cette perspective, il est nécessaire d'étudier les options possibles de développement de ce site au climat et à la situation géographique exceptionnels.

*N'est-ce pas un lieu privilégié pour dynamiser le tourisme de santé ? Depuis les premières recherches scientifiques de 1842, depuis les premiers écrits de doctrine de 1864, tout confirme que peut s'y exercer une thérapeutique thermale, notamment contre les douleurs*

<sup>1</sup> Précisement : 172,7 contre 213,8.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

rhumatismales ou arthritiques<sup>2</sup>. En effet, la présence d'iode et de brome dans les eaux dans la proportion de 0,001 à 0,002 mg/l (ce qui est le cas) justifie l'option médicale du développement de la station. Ainsi, dans le futur, des soins pourraient être dispensés, notamment à nos aînés, qui en ont besoin.

*N'est-ce pas aussi un lieu à vocation de tourisme de loisirs et de détente ?* C'est en effet le souhait qu'exprime aujourd'hui la clientèle touristique guadeloupéenne et internationale que de pouvoir se détendre dans un cadre différent dont l'atout ne serait plus forcément la mer. Ainsi, la station de Ravine Chaude, rénovée et développée, porte en elle les germes de pouvoir répondre à ces besoins nouveaux de tourisme vert. L'environnement est propice à l'installation de gîtes et à la naissance d'une petite hôtellerie familiale et rurale. La découverte des sites, les randonnées pédestres ou équestres sont autant de conditions favorables qu'il s'agira d'étudier.

Mais, en réalité, n'est-ce pas tout simplement un mariage heureux, donc équilibré, de ces deux options qui impulsera la dynamique nouvelle que nous souhaitons ? C'est pour cela qu'au cours du 1<sup>er</sup> semestre de l'année 1991 seront entrepris des travaux de rénovation de l'ensemble des bâtiments et une réflexion de redéploiement des activités de la station de telle sorte que, à la nouvelle saison, le visiteur puisse voir mettre à sa disposition, outre les piscines :

- un espace de restauration gastronomique
- un espace de restauration rapide
- un salon de thé-pâtisserie-glaces
- deux terrains de tennis
- un parc agrémenté de kiosques d'environnement
- des baignoires médicales à jets pulsés
- un salon de kinésithérapie.

Ceci, je le crois, ne peut laisser indifférent l'Etat, ni les Assemblées Locales.

Mais, au-delà de ces premières actions, il me semble impératif, d'ores et déjà, de réfléchir au devenir du site. Il en sortira probablement des idées, des propositions tendant à la création de piscines supplémentaires (à vocation sportive, éducative ou de rééducation ?), de bungalows, d'un hôtel de montagne, ou encore, si le temps nous le permet et si nos capacités budgétaires

nous l'autorisent, à la création *in fine* d'un Centre médico-thermal.

*Ainsi, le complexe futur, à l'impact économique et social indéniable dont les effets multiplicateurs doivent être maîtrisés, valorisera certes Le Lamentin, mais aussi le Nord de la Basse-Terre, participant au nécessaire rééquilibrage du territoire, et sera de même un vecteur de sensibilisation de nos concitoyens aux questions touchant à l'environnement.*

C'est qu'en vérité sont là les réels enjeux de la Guadeloupe de demain. Je dis que le seul débat qui vaille est celui qui met en relation étroite les notions de :

- Développement économique
- Aménagement du territoire
- Formation professionnelle
- Environnement
- Morale publique.

*C'est seulement ceci qui peut être considéré comme une première réponse aux besoins, soucis et inquiétudes de notre jeunesse dont la colère, ce que nul ne distingue avec précision, sinon avec sagesse, sans cesse gronde et grandit jour après jour.*

*Ce sont là les vrais enjeux qui contiennent aussi en eux le discours et les pratiques d'écologie, tant il est vrai que doit naître un nouveau concept, idéologique certes, mais aussi concret, que d'aucuns qualifieront de socialisme écologique guadeloupéen.*

Ce sont là les vrais défis à relever, et qui ne le seront que dans une dimension d'intercommunalité, au plan culturel, mais également au plan économique.

Désormais, et pour l'avenir, les espaces géographiques et économiques sub-régionaux devront être considérés comme l'échelon de base à partir duquel sera établi tout plan régional de développement économique et social.

Voilà ce que m'inspire la Fête de l'Eau, l'Eau magnifiée aujourd'hui. A tous ceux qui y ont participé et qui y participent, bénévoles, élèves, enseignants, représentants d'organismes ou d'Administrations, à ceux qui humblement, pour la santé des nôtres, nous accompagnent dans le contrôle des eaux ou par leur précieux soutien, que nos plus vifs remerciements leur soient adressés.

En ce 8 décembre 1990, que vive avec eux, la Fête de l'Eau.

José TORIBIO

Maire de la Commune du Lamentin  
Président du SIVOM Nord Basse-Terre

<sup>2</sup> Ou encore l'intoxication alimentaire.



# Dolé-Les-Bains

## Historique et perspectives actuelles

J.C. PITAT  
(*Capès-Dolé*)

### RÉSUMÉ

Après un bref rappel de l'ancienneté de la fréquentation traditionnelle du site hydrothermal de CAPES-DOLE, l'auteur évoque le projet d'extension et de rénovation. Il décrit l'évolution du dossier au plan foncier et financier. Il est permis de regretter que les aspects scientifiques hydrogéologiques, physico-chimiques et la protection de la ressource soient esquissés avec une aussi grande discréption.

**Mots clés :** Guadeloupe - Capès-Dolé - Thermalisme.

### SUMMARY

**Dolé-les-Bains : history and current prospects.** – After a brief review of the ancient nature of the traditional use of the Capès-Dolé spa site, the author describes current extension and renovation projects. This includes a review of the building and financial situation. It is reasonable to regret that the scientific, hydrogeological, physical chemical and protection of resources aspects of the question have been dealt with so succinctly.

**Key words :** Guadeloupe - Capès-Dolé - Thermalism.

### SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le périmètre thermal de Dolé-les-Bains est situé sur le territoire de la Commune de Gourbeyre à 200 mètres d'altitude, au cœur de l'entité touristique constituée par la partie sud de la côte sous le vent, depuis Rivièr-Sens, Vieux-Fort jusqu'à Trois-Rivières, les monts Caraïbes, Gourbeyre, Saint-Claude et la Soufrière.

A proximité immédiate de l'axe routier Pointe-à-Pitre – Basse-Terre, auquel il peut être facilement relié par l'élargissement d'une voie secondaire existante, et en bordure de l'ancienne route nationale, le site de Dolé-les-Bains offre l'avantage d'un accès aisément ; à 50 kilomètres de Pointe-à-Pitre, 8 kilomètres de Basse-Terre, et 6 kilomètres du dôme de la Soufrière.

**Tirés à part :** Dr J.C. Pitat, Centre Médico-Social, CAPES-DOLE, Basse-Terre, 97130 Guadeloupe.

**Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.**

Surplombant la mer des Caraïbes, face aux Iles des Saintes, à 10 minutes de la plage, le site de Capès-Dolé bénéficie d'une situation géographique attractive, ainsi que d'un climat doux et ventilé qui modère agréablement l'air sec et chaud de la Côte sous le vent (fig. 1).

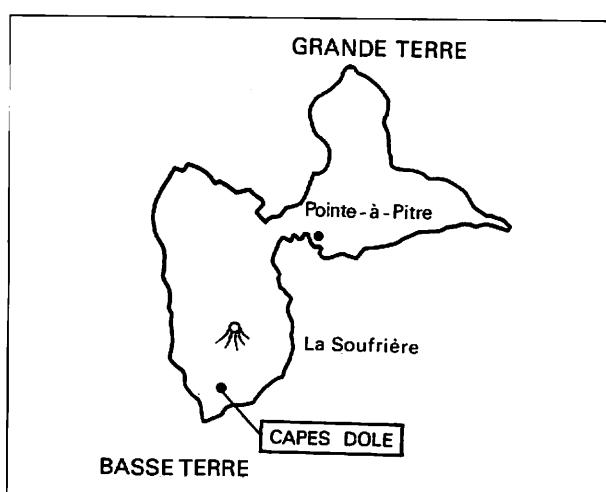


Fig. 1. – Situation de Capès-Dolé dans l'Île de la Guadeloupe.

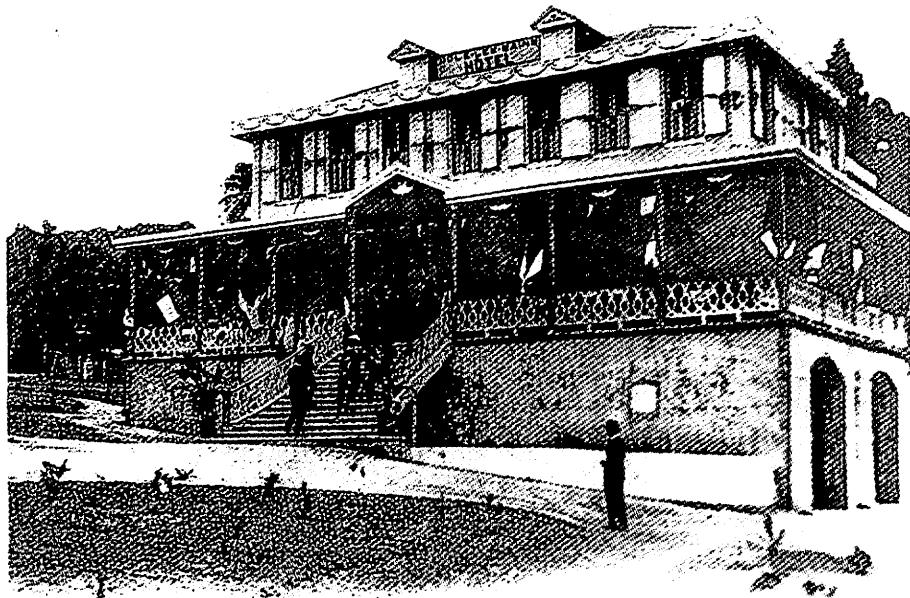


Fig. 2. - Le complexe thermal de Capès-Dolé vers 1925.

## HISTORIQUE

Bien que déjà connues des Caraïbes, les premières descriptions des Eaux de Dolé remontent au XVII<sup>e</sup> siècle (travaux des Pères Breton, Dutertre, Labat).

On peut schématiquement distinguer deux périodes :

### Dolé, tradition thermale

Considéré par tradition comme le « Centre Thermal de Guadeloupe », Dolé-les-Bains fut une destination de vacances pour les Guadeloupéens, jusque dans les années 60.

En effet, la première station thermale de Guadeloupe fut celle de Dolé. Dans la première moitié du siècle dernier, une caserne y recevait les convalescents militaires sortant des hôpitaux.

Dès 1842 le site de Dolé s'affirmait en tant que double destination, à la fois thermale et de villégiature ; la vocation thermale du site, où l'on traitait « l'arthritisme », devait se renforcer au début du siècle.

En 1920, le Docteur Pichon, ancien Médecin des armées, y fit construire un complexe composé de deux bassins, de cabines de bains et d'un hôtel d'une quinzaine de chambres. La capacité d'accueil en hébergement était complétée par des chambres chez l'habitant.

La fréquentation thermale de Dolé perdura jusqu'à la seconde guerre mondiale, les pratiques thermales dispensées étaient : bains, douches, pédiluves et bains de piscine (fig. 2).

La fréquentation touristique du site se poursuivit jusqu'en 1964, date à laquelle l'hôtel cessa de fonctionner.

### Dolé, problématique de sa mise en valeur

En 1949 et 1950, le Préfet Philipon, considérant le Thermalisme comme l'une des branches du tourisme fit inscrire la question de l'exploitation des eaux minérales dans le plan FIDOM.

Son successeur le Préfet Villeger poursuivit la démarche engagée. L'on procéda alors à une étude des différentes sources thermales de la Guadeloupe sur un cycle annuel.

Les conclusions de cette étude regroupées dans le rapport du Dr Sautet, mettaient en évidence « l'exploitation possible de trois sites : Capès et Dolé, Matouba, Ravine Chaude ».

Elles désignaient les sources de Dolé comme « les plus appropriées à une exploitation immédiate ».

Fort des conclusions extrêmement positives de ce rapport, le Docteur Joseph Pitat, ex-Maire de Basse-Terre et Président du Conseil Général de la Guadeloupe, affirmait la volonté d'une remise en valeur thermale et touristique du périmètre de Dolé-les-Bains.

Le projet défini comportait deux volets : l'un avait pour objet de créer *une usine d'embouteillage*, l'autre concernait la réalisation d'un *complexe thermal*.

C'est dans cette perspective qu'en 1966, la Société de Dolé-les-Bains (capital : 1,5 MF regroupant 208 actionnaires) avait été créée, des études préliminaires sérieuses entreprises (rapport Canellas, Ebrard et Faraggi) et qu'en 1968 l'hôtel thermal avait été détruit.

La disparition prématuée de l'initiateur conduisit à la mise en sommeil de ce projet, tandis que l'usine d'embouteillage, second volet de l'opération avait vu le jour en 1969, sous l'appellation « Capès-Dolé » (capital actuel 6,6 MF regroupant 281 actionnaires).

En effet, bien qu'en 1971 « le Syndicat du Thermalisme de Guadeloupe » ait lancé un programme ambitieux d'études et de développement des sources exploitable, celui-ci devait disparaître après la réalisation du Centre Thermal de Saint-Claude, laissant sans suite les investigations menées sur les sources de Capès et de Dolé.

*En 1981, un nouveau projet d'exploitation thermale et touristique de Dolé-les-Bains était défini. Celui-ci prévoyait « la création d'un établissement thermal d'une capacité de 150 personnes/jour, un hôtel de 120 chambres, 20 cottages, 2 piscines, 5 courts de tennis, un country-club, un club-house, un restaurant, un golf de 9 trous, ainsi qu'un casino ».*

Le montant initial d'investissement de l'ordre de 49,8 millions de F. TTC fut ramené à 26 millions de francs comprenant un Centre Thermal et une unité de Remise en Forme, un hôtel trois étoiles de 41 chambres, 4 courts de tennis, une piscine, une aire de jeux pour enfants, un mini-golf, un squash, un club-house.

Officiellement déposé en novembre 1983, et bien que le permis de construire ait été obtenu, ce dernier projet dû être différé à la suite des événements de 1984, certains partenaires extérieurs s'étant désengagés.

En février 1986, était constituée « l'Association Guadeloupéenne pour le Développement du Thermalisme » en liaison avec la Chambre de Commerce et d'Industrie de Basse-Terre. Dans ce cadre, deux projets allaient à nouveau être successivement envisagés.

Le premier, esquissé en 1987 reprenait pour une large part le projet de 1981, en distinguant cependant le complexe thermal proprement dit des équipements satellites, en réduisant la capacité d'accueil : 40 à 50 personnes/jour pour l'établissement thermal et à 90 lits pour l'hôtel.

L'estimation totale du projet s'élevait à 95,600 millions de francs dont 32 millions affectés au complexe thermal proprement dit, établissement, centre de remise en forme, hôtel et services annexes.

La clientèle ciblée était alors celle des Guadeloupéens partant en cure en Métropole.

Un rapprochement avec la station de La Roche-Posay avait été alors établi. Les orientations dessinées

étaient celles du traitement de la Rhumatologie et de la Dermatologie ainsi que d'une ouverture sur le créneau de la remise en forme et plus précisément de la « remise en condition physique et psychique ».

Fin 1987, un dossier de demande de subvention était déposé auprès des instances territoriales pour le financement « d'un programme directeur, l'organisation d'un concours et des études spécifiques devant s'échelonner sur deux ans : 1988 et 1989 ».

Le coût de cette phase d'études était évalué à 1,590 millions de francs ; l'aide sollicitée était du même montant.

L'investissement, quant à lui, devait s'articuler : entre une part publique totale de 53,45 p. cent soit 51,1 millions de francs et un apport net privé de 44,5 millions de francs.

En 1989, l'association poursuivant la réflexion engagée pour la mise en valeur de Dolé définissait les études à mener : foncières, topographiques, physico-chimiques des eaux, médicales et de faisabilité économique.

L'étude foncière était confiée à un expert, Monsieur Werter, et les études topographiques au cabinet Hucki.

L'étude sur la qualité physico-chimique des eaux devait quant à elle, être assurée par le BRGM de Guadeloupe. D'autre part, et avant de lancer les études médicales, un contact devait être établi avec les responsables de la station de Vittel.

Conjointement, la Chambre de Commerce et d'Industrie de Basse-Terre, à qui l'association avait confié la maîtrise d'ouvrage de l'opération, lançait un avis d'appel de candidatures de concepteurs en vue « de réaliser un Centre Touristique de Santé et de Remise en Forme » à Dolé, et en avril 1990 procédait à un concours sur esquisse.

Le cahier des charges du dossier de concours fixait comme programme de l'opération « la construction d'un complexe touristique comportant un hôtel de confort trois étoiles et d'une capacité de 100 chambres, un hôtel de confort deux étoiles et d'une capacité de 100 chambres sous forme de structure éclatée, un golf 9 trous, un Centre équestre, un Club de tennis, un pas de tir à l'arc, un espace de jeux pour enfants, deux parcours de santé, un Centre de Remise en Forme d'une capacité de 80 personnes/jour, une zone de lotissements résidentiel ou touristique, un Centre d'artisanat d'art de 15 boutiques ».

L'ordre de grandeur du coût total du projet incluant les VRD était fixé à 100 millions de francs.

Outre différentes carences d'ordre méthodologique, ce projet bien qu'avancé se heurta à un obstacle majeur, celui de l'emprise foncière.

En effet, le périmètre d'implantation défini par le Maître d'Ouvrage, d'une superficie de 25 ha ne se trouvait maîtrisé que pour environ 1/5, le reste des terrains appartenant à un propriétaire privé extérieur au projet (fig. 3).

## PERSPECTIVES ACTUELLES

### Le site

**La ressource en eau :** Le périmètre de Dolé-les-Bains se caractérise tout d'abord par la présence d'une importante ressource thermominérale.

Celle-ci se manifeste au travers de quatre groupes de sources situés sur un axe de direction Est-Ouest, se répartissant en deux pôles, celui des sources de Dolé et celui de Capès.

Les sources de Dolé se subdivisent en deux groupes :

– l'un, dont les eaux sont captées et alimentent l'usine d'embouteillage, le trop-plein quant à lui dessert le petit bassin de pierres en bordure de la route

– l'autre, composé de sources sourdant naturellement dans le fond du bassin de l'ancienne piscine thermale de Dolé ; l'évacuation de ces eaux, après avoir transité par un canal, forme les cascades qui se déversent le long de la route reliant Trois-Rivières à Gourbeyre.

Elles sont de type pauci-minéralisée d'un débit d'environ 120 l/s et d'une température au griffon de 32°C.

Les sources de Capès se subdivisent également en deux groupes :

– l'un fait l'objet d'un *captage ancien* et forme une cascade se déversant dans un bassin de pierres appelé « Bains des Amours »

– l'autre donne lieu en contre-bas du « Bain des Amours » à des *résurgences naturelles*.

Elles ont à peu près les mêmes caractéristiques que celles de Dolé mais d'un débit inférieur (environ 60 l/s) et d'une température plus élevée (36°C).

L'ensemble de ces sources est situé sur les terrains dont jouissent, par bail emphytéotique, les sociétés « Capès-Dolé » et « Dolé-les-Bains », bail renouvelé en 1989.

**Le foncier :** les réalisations d'un complexe thermal et touristique suppose que les surfaces disponibles puissent être étendues aux terrains limitrophes.

Le POS de la Commune de Gourbeyre prévoyant un droit de préemption sur cette zone, la maîtrise du foncier nécessaire à l'opération projetée passe par l'intervention de la Commune.

**Le potentiel touristique :** Le site de Dolé s'inscrit dans une entité touristique naturelle délimitée au Nord par le Massif de la Soufrière et au Sud par la partie Est de la Côte sous le Vent comprise entre Rivière-Sens et Trois-Rivières.

Le potentiel touristique de cette zone est contenu dans :

- la force et la diversité de ses paysages ;
- l'immédiate proximité des sites qui permet un accès aisément de l'un à l'autre, facilité en cela par le réseau

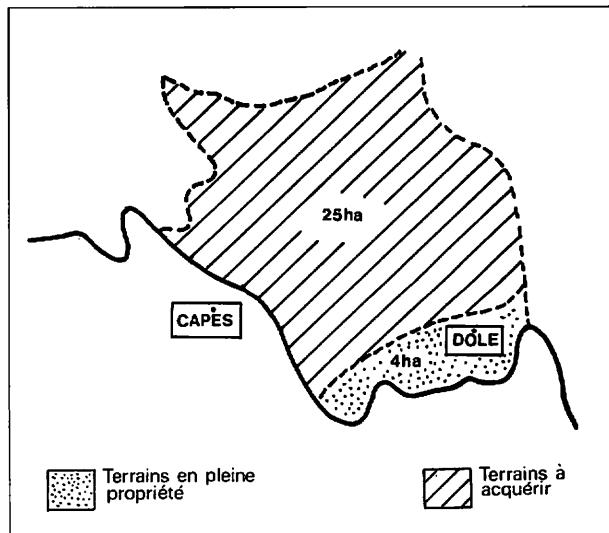


Fig. 3. – Le POS autour du site de Capès-Dolé.

Terrains à acquérir : 25 ha soit 4/5 de la superficie totale : Terrains en pleine propriété : 4 ha, soit 1/5 de la superficie totale, sous déduction des emprises des bâtiments.

des voies routières existantes mais également par la fréquence des liaisons maritimes avec les îles des Saintes.

– Le climat, qui, de par l'effet de fohën est particulièrement agréable toute l'année

– Une végétation qui, de la Soufrière à la mer suscite chez le visiteur étonnement et admiration

– L'absence, comme pour l'ensemble de la Guadeloupe, de toute espèce animale dangereuse

– Une beauté d'ensemble qui remplit l'âme de ravissement

– Une prédisposition naturelle de la majorité des résidents à accueillir les visiteurs avec une grande gentillesse.

### Objectifs de développement

Les objectifs de développement définis par les partenaires privés et publics concernés prennent appui sur :

– la tradition thermale du site, ainsi que sur l'intérêt porté par les représentants des pouvoirs publics en Guadeloupe, dès 1949, mais également en 1971 dans le cadre du VI<sup>e</sup> Plan, intérêt encore actuellement manifesté dans le cadre du Plan Régional. Le passé thermal et de villégiature de Dolé-les-Bains reste encore aujourd'hui présent dans les mémoires et on l'évoque toujours comme un lieu où les Guadeloupéens de Grande-Terre, comme de Basse-Terre aimaient se rendre tant en séjours, qu'en week-end. L'image de l'eau, des bains et des piscines reste très fortement attachée à l'identité du site.

– L'opportunité d'apporter un complément aux structures de santé existantes en utilisant une richesse naturelle d'où une baisse considérable des dépenses (dépenses engendrées par le coût d'un voyage en métropole).

– La nécessité de créer un pôle touristique attractif dans cette région avec pour atout de pouvoir être ouvert douze mois sur douze. Actuellement l'activité touristique de la région se limite essentiellement à la découverte du massif de la Soufrière, du parc des Roches Gravées à Trois-Rivières, de la visite des Iles-des-Saintes. On pourrait opposer le tourisme classique à caractère passif et en quelque sorte normalisé en Grande-Terre, à cette forme de tourisme de type actif, exploitant une ressource naturelle, à même de drainer de nouvelles ressources en provenance de marchés extérieurs, et par ailleurs intégré à la vie locale.

– La volonté de poursuivre l'œuvre initiée en 1966 par le Docteur Joseph Pitat est attendue depuis longtemps par toute une population attachée à ses traditions.

#### **Moyens mis en œuvre**

En juillet 1990 la Société Dolé-les-Bains prenait quant à elle l'initiative de commanditer une étude préalable de faisabilité. En effet, depuis 1981, les différents projets envisagés, y compris le dernier, prenaient tous appui sur les investigations menées en 1980. Il connaît donc, dix ans après, d'examiner de façon réaliste quelles étaient les perspectives de mise en valeur du site de Dolé, en tenant compte d'une part des évolutions tant au plan thermal que touristique, d'autre part des contraintes liées à l'exploitation des différentes sources du périmètre concerné ainsi que de celles afférentes au foncier, mais également en considérant les opérations publiques périphériques envisagées par la Commune.

Conjointement, la Commune de Gourbeyre impulsait la création d'une Association réunissant, outre différents partenaires, à titre consultatif les administrations directement concernées par ce type de projet.

L'objectif de cette association étant de mener une réflexion approfondie sur l'impact d'un projet de remise en valeur du site de Dolé, ses retombées économiques et culturelles possibles et ses conséquences sur l'environnement.

Ces deux dernières démarches à savoir, d'une part celle initiée et mise en œuvre au titre de la Société Dolé-les-Bains, d'autre part celle impulsée par la Commune de Gourbeyre, s'articulent autour d'un objectif commun.

Cette double initiative, loin de revêtir un caractère dualiste, permet au contraire d'établir les bases d'une méthodologie unique prenant en compte les spécificités et les contraintes tant d'ordre privé, que relevant du domaine public.

En effet, toute perspective de mise en valeur thermale et touristique du site de Dolé revêt un caractère mixte :

#### *Domaine privé*

La ressource en eau qui confère au site son intérêt économique et touristique est détenue dans sa totalité par les sociétés « Capès-Dolé » et « Dolé-les-Bains ».

Elle constitue l'élément structurant initial d'une mise en valeur du site.

#### *Domaine public*

La faisabilité d'une opération thermale et touristique à Dolé passe nécessairement par l'intervention de la Commune, notamment en ce qui concerne les VRD mais également la maîtrise de l'emprise foncière des terrains limitrophes au domaine thermal proprement dit, indispensables pour tout projet sur ce site.

La nécessaire réflexion d'ensemble autour de ce projet appelle la concertation active des Associations privées et publiques en cause, des Pouvoirs Publics et de grandes instances telles la Sécurité Sociale, les Mutuelles et le Corps Médical, directement concernés par le couple efficacité/coût.

Préalables à toute demande officielle, de nécessaires investigations sont en cours, regroupées au sein de protocoles précis :

– la remise à jour de la carte hydro-géologique du site avec observation de la stabilité physico-chimique et bactériologique sur un cycle annuel, tant des sources de Dolé que des sources de Capès ;

– la compréhension du système hydro-minéral et thermal de Capès-Dolé, de manière à avoir une bonne maîtrise de la ressource ;

– de ces différentes investigations, pourra alors se constituer un dossier médical sur les propriétés thérapeutiques des eaux, ainsi qu'un regroupement des éléments conduisant à l'obtention des autorisations et agréments.

## **EN CONCLUSION**

Forte de sa longue tradition thermale, Dolé-les-Bains est à l'orée d'une nouvelle période qui devrait conduire à la reconnaissance officielle de ses eaux en tant qu'eaux thermales minéralisées et à la réalisation d'un complexe thermal et touristique à Gourbeyre.

#### *Remerciements*

Nous remercions tout particulièrement Mesdames Patricia Lamizana-Tamby et Marie-Noëlle Blanquier dans les travaux desquels nous avons puisé de nombreuses informations.

# Approche d'une mise en valeur diversifiée du patrimoine hydrominéral guadeloupéen

M.N. BLANQUIER  
(Toulouse)

## RÉSUMÉ

Lié au volcanisme ancien ou actif de l'Île, le patrimoine hydrominéral de la Guadeloupe est constitué d'une vingtaine de sources chaudes minéralisées et dont les principes ont fait l'objet de missions et de travaux scientifiques et universitaires. Localisées en Basse Terre, ces sources se répartissent autour de cinq pôles : le Massif de la Soufrière, le secteur de Capes-Dolé, le site de Bouillante, les sources de Sofaïa à Ste Rose, les sources du Lamentin. En 1951, la mise en valeur de ces sources a répondu à une nécessité qui a permis la mise en œuvre de deux missions avec pour objectif la détermination des possibilités d'exploitation des eaux, à l'initiative de l'Etat et sous la direction du Professeur Sautet. En 1969, sous l'égide de la Fédération Thermale et Climatique Française, une nouvelle mission a été impulsée par le Département de la Guadeloupe afin de réactualiser les conclusions de 1951 et d'établir la faisabilité « d'une exploitation immédiate » des sources pour lesquelles des captages avaient été réalisés. En 1990, seules les sources des Bains Chauds de Matouba sont utilisées à des fins thérapeutiques, les sources de Dolé-les-Bains sont exploitées dans le cadre de l'embouteillage ; les autres sources s'inscrivent dans des pratiques de loisirs (Ravine Chaude, Sofaïa, Bains Jaunes, Capes et Bouillante). A ce jour, il convient de s'interroger sur les orientations d'exploitation de chacun des sites concernés. Pour ce faire, il est nécessaire de procéder à une expertise de chacun des projets ébauchés qui se traduirait s'ils étaient menés à terme par la création de 2 à 3 nouveaux pôles thermaux (outre celui St-Claude), 3 complexes de Tourisme de Santé et de Remise en Forme, 8 centres de thalassothérapie et 3 sites de loisirs touristiques. En effet, l'offre guadeloupéenne proposerait alors : au plan thermal, 3 ou 4 stations, dans le domaine du Tourisme de Santé, et de la thalassothérapie une douzaine de Centres. Compte tenu d'une part de la complexité propre au secteur thermal, d'autre part des marchés tant en ce qui concerne le ther-

## SUMMARY

**Policy for the varied exploitation of Guadeloupe's hydro-mineral inheritance.** – The hydromineral inheritance of Guadeloupe, which is linked to both ancient and present volcanic activity on the island, consists of approximately twenty hot mineral springs. The most important of these have been the subject of scientific and university research. These springs are situated around five poles in Basse Terre : the Massif de la Soufrière, the Capes-Dolé sector, the Bouillante area, the Sofaïa springs at St Rose, the Lamentin springs. In 1951, the exploitation of these springs fulfilled a need which in turn allowed the setting up of two expeditions. At the request of the Government and under the direction of Professeur Sautet, their goal was to define the extent to which these spring waters could be exploited. In 1969, under the French Thermal Springs and Climate Federation's control, a new expedition was encouraged by the Department of Guadeloupe. This was done in order to bring up to date the conclusions reached in 1951 and also to establish the viability of immediate exploitation of the springs which had already been harnessed. In 1990, only the llot Bath Springs at Matouba have been put to therapeutic use. The Springs at Dolé les Bains are used for bottling purposes. The other Springs (Ravine Chaude, Sofaïa, Bains Jaunes, Capes and Bouillante) are used for leisure purposes. Today, one should look carefully at the manner in which each of the sites in question is being exploited. In order to do so, we must analyze each of the project outlines which, if they came to fruition, would create 2 or 3 new thermal poles (in addition to the one at St Claude), 3 Tourist Health Spas Fitness Centres, 8 Sea Water Therapy Centres and 3 Tourist Leisure Sites. In reality, the guadeloupian proposal would offer : 3 or 4 spas (approximately) a dozen centres for Health Tourism and Sea Water Therapy. Given the complexity of the thermal sector and also of the markets which concern thermalism, Health Tourism and Sea Water Therapy, we can start to question the viability of all these projects. In fact, it would seem necessary to include the exploitation of the guadeloupian hydromineral inheritance in an ongoing process of development and production based

Tirés à part : M.N. Blanquier, Comité Régional de Tourisme Midi-Pyrénées, B.P. 2166, 54, bd de l'Embouchure, 31022 TOULOUSE CEDEX.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

malisme que le tourisme de santé et la thalassothérapie, il est permis de douter de la viabilité de tous ces projets. De fait, il apparaît indispensable d'inscrire la mise en valeur du patrimoine hydrominéral guadeloupéen dans une démarche d'aménagement et de production prenant appui sur une méthodologie rigoureuse. Une telle approche permettrait alors de définir un schéma départemental et régional d'une exploitation diversifiée et réaliste de la ressource guadeloupéenne.

**Mots clés :** Antilles Françaises - Guadeloupe - Thermalisme.

on a strict methodology. Therefore, such a policy would allow the defining of a departmental and regional plan for the varied and realistic exploitation of the resources in Guadeloupe.

**Key words :** The French Caribbean - Guadeloupe - Thermalism.

Lié au volcanisme ancien ou actif de l'Île, le patrimoine hydrominéral et thermal de la Guadeloupe est constitué d'une vingtaine de sources chaudes minéralisées répertoriées ; les principales ont fait l'objet de missions et de travaux scientifiques et universitaires<sup>1</sup>, comme cela nous l'a été présenté par mesdames Girault et Tamby.

*Localisée en Basse-Terre, ces sources se regroupent en 5 pôles, à savoir :*

Le Massif de la Soufrière, le secteur de Capes-Dolé, le site de Bouillante, les sources de Sofaïa à St-Rose ainsi que celles du Lamentin.

Présentant des caractères physico-chimiques à dominante sulfurée pour les sources du Massif de la Soufrière et de Sofaïa, oligo-métalliques mixtes pour celles de Capes-Dolé, du Lamentin et de Bouillante, ces sources revêtent une forte dimension culturelle en ce sens qu'elles s'inscrivent dans un vécu local fondé par le passé sur une pratique d'auto-médication dont la tradition se perpétue sous forme ludique.

Le souci, qui nous préoccupe aujourd'hui, de mise en valeur de ces sources, est apparu dès la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, donnant lieu depuis à différentes investigations ;

Dans cet esprit, en 1951, à l'initiative de l'Etat et sous la direction du professeur Sautet deux missions ont été menées ayant pour objectif de déterminer les possibilités d'exploitation de celles-ci. En prolongement de ces dernières, le Département de la Guadeloupe diligentait en 1969, une nouvelle mission sous l'égide de la Fédération Thermale et Climatique Française<sup>2</sup>, avec pour objet de réactualiser les conclusions de 1951 et d'établir la faisabilité « d'une exploitation immédiate » des sources pour lesquelles des captages avaient été réalisés<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Investigations et travaux scientifiques et universitaires menés.

<sup>2</sup> Mission menée sous la direction du Dr G. Ebrard et par le Pr J. Canellas et M. F. Faraggi.

<sup>3</sup> En 1969, les sources captées étaient celles de Dolé-les-Bains, de Ravine Chaude à Lamentin ; les captages des sources des Bains Chauds de Matouba étaient alors en cours de travaux.

Depuis, outre les recherches menées sur le site de Bouillante dans le cadre de la prospection géothermique, les sources thermo-minérales de la Guadeloupe ont fait l'objet, durant la dernière décennie d'une dizaine de travaux de recherche et de thèses de doctorat<sup>4</sup>.

Aujourd'hui, *l'exploitation existante de la ressource thermale Guadeloupéenne se présente de façon différenciée* :

Seules les sources des Bains Chauds de Matouba sont utilisées à des fins thérapeutiques par l'Etablissement Thermal H. Hamousin à Saint-Claude, pour les affections ORL et Rhumatismes,

Les sources de Dolé-les-Bains sont pour leur part, actuellement exploitées dans le cadre de l'embouteillage,

*Les autres sources*, quant à elles, s'inscrivent dans des pratiques de loisirs comme c'est le cas pour les sources de Ravine Chaude qui alimentent les piscines publiques du Lamentin, ou encore pour celles de Sofaïa, des Bains Jaunes, de Capes, ainsi que de Bouillante qui s'écoulent dans des bassins rudimentaires anciens, fréquentés par la population locale.

La question présentement posée de la mise en valeur du patrimoine hydrothermal de la Guadeloupe, conduit à s'interroger sur les orientations d'exploitation pouvant être proposées pour chacun des sites concernés, et à souligner la nécessité d'inscrire celles-ci dans une problématique globale d'aménagement et de développement prenant en compte la réalité des marchés.

*En effet, le recensement de l'ensemble des projets ayant donné lieu à des études ou étant encore au stade de simples préconisations se traduirait, s'ils étaient tous menés à terme, par la création de :*

– deux à trois nouveaux pôles thermaux s'ajoutant à celui de St-Claude ;

– trois complexes de Tourisme de Santé et de Remise en Forme s'adjoignant aux neuf projets de Thalassothérapie préconisés en Guadeloupe, St-Barthélemy et St-Martin ;

– trois sites proposant des infrastructures de Loisirs Touristiques.

Au total, selon ce scénario la seule offre Guadeloupéenne proposerait au plan thermal trois à quatre Stations, et dans le domaine du Tourisme de Santé, une douzaine de « centres ».

Bien entendu, cette effervescence de projets n'apparaît pas s'inscrire à ce jour dans une démarche d'aménagement et de production prenant appui sur une *méthodologie rigoureuse*. De fait, s'impose la nécessité de situer le potentiel hydrominéral existant dans une approche globale de l'offre Guadeloupéenne voire Antillaise, comprise en terme de complémentarité, mais également, de fonder les projets préconisés sur une analyse objective et réaliste des marchés considérés, ainsi que sur un diagnostic précis de chaque site permettant de définir des stratégies pérennes.

D'ores et déjà, dans cet esprit, différentes composantes permettent de dessiner selon les sites, les orientations qui pourraient être retenues.

*Au plan thermal*, la complexité propre à ce secteur et afférente à la qualité des eaux, à leur utilisation à des fins thérapeutiques, aux procédures d'autorisations et d'agréments préalables à l'ouverture d'un établissement thermal, ainsi que le marché par nature captif et étroit, ne permettent pas d'envisager une multiplication de projets de centres thermaux.

Dès lors, tout projet préconisé dans le cadre de cette orientation doit impérativement donner lieu à une analyse fine de l'ensemble des paramètres à prendre en considération dans la perspective d'une ouverture de station, et être appréhendé dans un souci de complémentarité thérapeutique eu égard à la présence du centre thermal déjà existant de St-Claude.

Compte tenu des éléments à prendre en compte, l'on peut considérer que seul le site de Dolé-les-Bains présente à priori les caractéristiques permettant d'envisager une telle démarche, dans une problématique liée à l'embouteillage.

En tout état de cause, la Station de St-Claude, le projet de Dolé et celui d'Absalon en Martinique suffisent plus que largement à satisfaire les besoins de l'archipel des Antilles, en matière de Thermalisme, de fait, il serait aléatoire d'envisager de nouveaux projets dans le cadre de cette orientation.

En ce qui concerne le *Tourisme de Santé*, l'on assiste en Guadeloupe à une multiplication de projets, notamment en Thalassothérapie ; bien que celle-ci ne fasse pas l'objet du présent propos, il convenait néanmoins d'en faire état ; en effet, différents projets de mise en valeur de sources s'orientant vers le secteur de la

Remise en Forme, il est indispensable dans cette perspective, d'en tenir compte en terme de viabilité économique.

Là encore, il s'agit d'appréhender le marché dans une approche de complémentarité mais également et surtout avec réalisme.

Au total, ce sont 11 projets qui, en Guadeloupe, se positionnent sur ce secteur ; dans l'ensemble des Petites Antilles Françaises on en recense 16, et s'ils étaient tous menés à terme, l'offre sur cette destination se répartirait sur une vingtaine de centres.

Tout comme pour l'orientation « Thermalisme », une telle inflation de projets ne saurait répondre au pragmatisme nécessaire à la mise en œuvre d'un programme de développement dont les perspectives de pérennité sont indissociables d'une bonne maîtrise des paramètres économiques, sociaux et culturels.

Dans un tel contexte, il convient d'appréhender la mise en valeur des sources minérales de Basse-Terre en prenant appui sur la richesse des spécificités en présence et pour ce faire, il s'agit de définir un concept d'exploitation compris en terme de *plus-value touristique pour la destination Guadeloupe*.

Ce concept est contenu en germe dans le vécu des pratiques locales ancrées dans la tradition ; *l'orientation Loisirs* qui se dégage de l'utilisation actuelle de ces sources présente un caractère de réponse structurante aux problèmes posés non seulement par la mise en valeur de ces sources mais également par la nécessité, de développer en Guadeloupe des infrastructures de loisirs, renforcer face à la concurrence caraïbe l'attractivité de la destination Guadeloupe en soulignant son originalité, satisfaire à la recherche croissante de dépaysement des clientèles, mais aussi de veiller à la viabilité économique des réalisations projetées.

Dès lors, peut-on préconiser pour les sources telles que celles des Bains Jaunes, de Bouillante, de Sofaïa, du Lamentin et celles non captées de Capes et de Dolé, une mise en valeur, à caractère ludique, et strictement récréatif, et à même de proposer dans une mise en scène tropicale et caraïbe une palette originale et diversifiée de bassins et de bains s'inscrivant dans l'offre touristique guadeloupéenne.

Néanmoins, et afin d'atteindre l'objectif recherché, là encore s'impose la nécessité de situer chacun des projets dans une approche d'aménagement global avec pour souci un développement équilibré non seulement entre les sites concernés mais également entre les deux îles de Basse-Terre et de Grande-Terre.



# Projet éolien<sup>1</sup>

## Rapport de synthèse

I. BIBAULT-FONTÈS \*\*, C. CAVALLARO \*, G. CIMINO \*, R. LAUGIER \*\*

(Messine, Paris)

---

### RÉSUMÉ

---

L'étude pluriannuelle des sources thermales sulfurées de l'Île de Vulcano est orientée vers plusieurs voies : mécanisme hydrogéothermal, compétition avec les eaux d'une nappe phréatique suspendue double et le milieu marin, suivi géochimique, biologie : occupation de l'aire d'émergence par des *Rhodophytes* et *Cyanophytes* thermo- et acidotolérants ainsi que par des sulfobactéries formant une importante colonie flottante.

**Mots clés :** Vulcano - Lipari - Iles Eoliennes - Sources thermales sulfurées - Sulfobactéries - *Scenedesmus* - *Cyanidium*.

---

---

### SUMMARY

---

**Elolian project. Summary report.** - Several approaches are involved in the multi-year study of the sulfurated thermal springs of the Island of Vulcano : hydrogeothermal mechanism, competition with waters of a double suspended water table and the sea, geochemical monitoring, and biology : occupation of the outflow point by thermo- and acid-tolerant Rhodophytes and Cyanophytes, as well as by bacteria forming a considerable floating colony.

**Key words :** Vulcano - Lipari - Eolian Islands - Sulfurated thermal springs - Sulfobacteria - *Scenedesmus* - *Cyanidium*.

---

Les arcs insulaires font partie des zones à haut risque volcanologique.

Pour ne donner que quelques exemples, nous pouvons citer :

- les éruptions de type variés, donc certaines, catastrophiques, se sont produites dans les petites Antilles,
- la destruction de la ville de St-Pierre en Martinique,
- en Italie, l'éruption du Vulcano, 1888-1890.

Il semble primordial, tant pour la promotion scientifique que pour la prévention humaine, de rassembler et compléter les connaissances acquises dans le domaine des Sciences de la Terre. De même, il nous est apparu intéressant de dynamiser le développement

économique de ces régions en proposant la création de réserves naturelles insulaires et marines ainsi qu'en exploitant le patrimoine hydrothermal dont la pratique, ancestrale, a souffert anormalement de l'engouement pour les thérapeutiques modernes.

La constatation d'une automédication populaire sur des sources géothermales émergeant dans une aire fumérolle au pied du Vulcano (îles Eoliennes) en est le point de départ : 1984.

#### *Première phase*

En 1986, un doctorat d'exercice du diplôme d'Etat de Pharmacien donne lieu à la présentation d'un mémoire, devant un jury international : « Les eaux géothermales de l'île de Vulcano (Sicile) dans leur contexte de volcanisme actif » (fig. 1).

#### *Deuxième phase*

En 1988-90, la Commission des Communautés Européennes porte de l'intérêt à ce travail ; elle encourage la poursuite des travaux par l'ouverture d'une allocation de recherche partagée entre les deux partenaires : université de Messine et université de Paris-Sud.

<sup>1</sup> Commission des Communautés Européennes, Contrat n° 149 0155 UFR 920. Chercheur : I. Fontès.

\* Université de Messine.

\*\* Université Paris-Sud.

Tirés à part : P. R. Laugier, 16 bis, rue F. Mounthon, 91380 CHILLY-MAZARIN.

Journées internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

Les objectifs de ce projet sont orientés selon trois axes :

– suivi *physicochimique* des 8 émergences localisées dans la partie nord de l'île afin d'en déterminer les paramètres et modéliser la circulation des fluides à travers la structure de Vulcano ;

– étude *biologique* complète des sites « Acqua Calda » et « Pozzo Fango » ; description de la population algale et bactérienne : examen des prélevements frais sous microscope, observation au microscope électronique à transmission puis à balayage, à partir d'échantillons fixés, cultures *in vitro*.

Trois populations algales ont pu être mises en évidence, appartenant aux *Rhodophytes*, *Cyanophycées* et *Chlorophytes*.

#### Etude d'une colonie de *sulfo**ba**ctéries* :

– *développement du thermalisme* de l'île de Lipari : physicochimie et biologie de la source des thermes antiques de San Calogero, architecture d'origine mycénienne.

#### Troisième phase

Soutenance à la Faculté des Sciences d'Orsay (décembre 1989) d'un double doctorat d'état consacré à l'Hydrologie périvolcanique de la Soufrière (Guadeloupe, Antilles Françaises). Les candidats, Jean-Jacques Jérémie et Hélène Pascaline, ont ressenti depuis plusieurs années la nécessité d'aborder l'Hydrologie en mettant en commun leurs compétences respectives en Géologie d'une part et dans les Sciences physicochimiques d'autre part, dans un cadre pluridisciplinaire. De cette collaboration se sont dégagées d'harmonieuses activités au sein d'un laboratoire désormais bicéphale.

Cette situation a ouvert de nouvelles perspectives, notamment l'opportunité d'une comparaison entre deux arcs insulaires nés de la compétition entre deux systèmes de plaques continentales.

#### En résumé

Parti d'un événement hydrogéologique strictement local, nous débouchons sur deux acquisitions :  
 – modélisation de la dynamique des eaux,  
 – adaptations biologiques en milieu hostile au développement de la vie,  
 ainsi que sur la perspective d'une confrontation entre des travaux menés à des milliers de kilomètres de distance.

## VULCANO

#### Caractères physiques

##### Rappel des paramètres mesurés sur place

- Température (°C)

- pH,
- Conductivité électrique ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ ) : évalue la minéralisation globale d'une eau,
- Potentiel redox eH (mV).
- Oxygène dissous (mg/l).

#### Résultats obtenus

Ils sont rapportés dans les tableaux I à V du rapport de septembre 1989-février 1990.

#### Interprétation en courbes équipotentielles

Cette interprétation a été donnée par les figures n° 28 à 44 du rapport de mars-août 1989.

#### Composition chimique

Les résultats ont été obtenus du 7 juin 1988 au 28 novembre 1989.

#### Représentation tabulaire

Il s'agit des tableaux VI à XXXII du rapport de septembre 1989-février 1990.

#### Représentation graphique

– Puits/puits : courbes n° 1 à 16 du rapport de septembre 1989-février 1990.

– Variation de chaque élément dosé pour l'ensemble des points d'eau par référence aux précipitations et à la concentration en eau de mer : courbes n° 17 à 33 du rapport de septembre 1989-février 1990.

#### Représentation en courbes équipotentielles

Il s'agit des figures n° 45 à 100 du rapport de mars-août 1989.

#### Radioactivité

Il nous semble important de résumer les différents résultats obtenus sur des prélevements d'eau, de boue et de sol de 1984 à 1989 (tableaux I à III).

Nos observations à partir de ces données sont les suivantes :

#### Eau

Elle semble soumise à des influences externes (retombées de  $^{7}\text{Be}$  et peut-être de  $^{137}\text{Ce}$ ) à des influences internes récentes (radon en excès par rapport au radium).

L'activité en radon du 8 juin 1985 est bien inférieure à celle trouvée dans le prélevement du 11 novembre 1984. Le conteneur ne semble pas être mis en cause. Il s'agit très certainement d'un phénomène interne : le radon est un gaz caractéristique d'une activité volcanique. Sa durée de vie est très courte. Le fait d'en

TABLEAU 1. – Dosage radioactif : eau du « Pozzo Fango »

Date	Méthode	Radionucléide	Unité	Résultats
11/4/84	Résidu sec		g	19,4
	Spectrométrie gamma	Be 7 K 40 Cs 137 Ra 226 Ac 228	pCi	39 580 1,9 15 2,9
8/6/85	Gaz	Ra 222		105
13/6/88		Radon Tritium Radon Ra 222 Pb 210 Po 210		9 55 1 100 70 180 40
10/6/89		U 238 Ra 226 Po 210 Ra 228	mBq/l	180 100 45 100
	Alpha total			3 000
	Bêta total			12 000

déceler en grande quantité dans les prélèvements laisse supposer l'existence d'une activité.

C'est très certainement ce qu'il a dû se produire entre le 11 avril 1984 et le 8 juin 1985.

La spectrométrie gamma ne montre pas d'activité significative émergeant du bruit de fond observé en l'absence d'échantillon. Sans doute aurait-il fallu traiter un grand volume d'eau par évaporation et mesurer le résidu. Les valeurs obtenues exclusivement par radiochimie corroborent le fait que l'activité présente dans l'eau est faible.

### Boue

Un traitement énergique des boues, par attaque chlorhydrique à reflux, n'a semble-t-il pas permis de mettre en solution et donc de doser tout l'uranium présent. En effet la masse totale d'uranium trouvée n'est que de  $1,5 \mu\text{g}^{-1}$ , ce qui correspond à une activité voisine de  $20 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Cette valeur est trop basse, d'un facteur x 3-4, compte tenu des activités mises en évidence pour les descendants. Nous serions tenté de considérer une autre hypothèse, pour tenter d'expliquer au moins en partie, cette apparente anomalie : il pourrait s'agir d'une absorption des radionucléides sur la kaolinite résultant de l'hydrolyse, en milieu acide, des aluminosilicates calcosodiques et de leurs homologues ferromagnésiens.

### Caractères biologiques

Nous nous sommes intéressés à l'étude de la biologie de ces eaux géothermales, bien différentes de celles observées dans nos stations françaises puisqu'inscrites dans un contexte de volcano-dépen-

dance particulier.

Nous ne reviendrons pas sur les matériels et méthodes analytiques décrits largement dans nos précédents rapports.

Nous rappellerons seulement que trois types d'algues sont présentes :

– cyanophycées (= cyanobactéries = « algues bleues ») probablement du genre *Pseudanabaena*,

– chlorophytes dites « algues vertes » du genre *Scenedesmus*,

– rhodophytes du genre *Cyanidium*.

De plus, une très dense population de sulfobactéries (= Sulfuraires = Thiobactéries) se développe dans la zone fumerolienne marine d'Acqua Calda.

Au bilan de cette étude, trois points nous semblent importants :

– l'hostilité du milieu due à l'environnement volcanique est parfaitement supportée par un petit nombre d'organismes très bien adaptés aux conditions sévères de ce site. A noter la pauvreté du nombre de genres et d'espèces algales et bactériennes du fait de la très grande sélectivité du milieu.

– La présence de Rhodophytes du genre *Cyanidium* est, d'après la littérature, spécifique des eaux acides ( $2 < \text{pH} < 3$ ) et chaudes telles que les solfatares où la température peut atteindre  $55^\circ\text{C}$ . Les résultats obtenus ici dépassent les limites connues en ce sens que nous démontrons une présence de vie dans des conditions plus acides ( $\text{pH} = 1,6 - 1,8$ ) et plus chaudes (température allant jusqu'à  $90^\circ\text{C}$ ).

– Selon F.H. Johnson (1947) et P. Fourment (1926), les sulfobactéries seraient gorgées de globules réfringents de soufre, zones électriquement vides, entourées par une couche cytoplasmique plus ou moins épaisse (fig. 1). Cette interprétation ne peut actuellement dépasser le stade d'une hypothèse. En effet, il paraît difficile et contraire aux normes biologiques de concentrer un minéral à l'état élémentaire à l'intérieur d'une cellule animale ou végétale, constituée essentiellement de substances organiques. Les végétaux qui stockent le calcium le complètent sous forme d'oxalate (raphides et cystides).

### Etude clinique expérimentale

C'est sur l'isthme de Vulcano-Porto, au pied des petits et grands Faraglione, que se situent les manifestations hydrogéothermales de l'île. Elles font sa renommée depuis de nombreuses années.

Ces lieux ne ressemblent en rien à un site thermal habituel : ni établissement de cure, ni suivi médical. Cependant, leur position par rapport au complexe volcanique leur confère un intérêt certain.

Le Pozzo Fango, entièrement artificiel, était, il y a 20 ans, un ancien « bac à boue » construit pour l'exécution de forages (fig. 2).

TABLEAU II. - Dosage radioactif : sol « Pozzo Fango »

Prélèvement	Date	Unité	K 40	RA 226 (Série U 238)	Ac 228 = descendants (Série du Th 323)
1V	13/6/88	Bq/kg	319	95	62
2V			632	106	106

TABLEAU III. - Dosage radioactif : boues « Pozzo Fango »

Date	Unité	U 238	Proact. 234	Ra 226	Po 210	Ac 238	Ra 224	Alpha tot.	Bêta tot.
1/6/89	Bq/kg	20	100	70	60	65	70	1 520	1 070

Etendue d'eau géothermale, grisâtre, agitée par le bouillonnement continual entretenu par les fumeroles du Vulcano, il est caractérisé par une boue constituée essentiellement de soufre, d'alumine et de cendres volcaniques.

Il est important d'insister sur l'aspect mythique du bain pratiqué par automédication parfois abusive tant par la population autochtone que plus occasionnellement par les touristes qui affluent chaque année à Vulcano.

Cure de jouvence dermatologique, traitement (?) du rhumatisme arthrosique, guérison des affections des voies respiratoires : une sorte de « balnéo-fangothérapie » et de cure inhalatoire tout à fait empirique, menée souvent de manière irrationnelle, les conditions d'hygiène pouvant laisser perplexe. Contre toute attente, les résultats semblent être très satisfaisants !

Les travaux des professeurs A. Giordano et F. Occhiuto de l'Université de Messine, département de pharmaco-biologie, en 1982-1984 ont étudié les effets de :

- la boue sur l'arthrite et l'œdème,
- l'eau du Pozzo Fango sur le fonctionnement de l'appareil cardio-circulatoire et d'Acqua Calda et de son action anti-inflammatoire.

### Boue

#### *Arthrite expérimentale*

*Principe* : effets sur l'arthrite expérimentale induite chez le rat avec l'adjuvant complet de Freund, évalués par inhibition de l'œdème et la disparition des nodules. Comparaison avec l'action des anti-inflammatoires non-stéroïdiens (AINS) tels que l'indométabine et la phénylbutazone.

*Résultats* : dans les conditions expérimentales, la boue de Vulcano provoque une nette inhibition de l'état œdémateux évolutif caractérisant la première phase de l'arthrite.

L'action est nettement comparable (en %) à celle provoquée par les anti-inflammatoires non-stéroïdiens :

- boue de Vulcano : 10,1,
- phénylbutazone : 10,7,
- indométabine : 10,96.

### *Œdème expérimental*

*Principe* : action sur l'œdème expérimental d'une patte de rat induit par la carrhagénine. Comparaison avec l'effet provoqué par l'indométabine, le salicylate de sodium et l'hydrocortisone chez ces mêmes animaux.

*Résultats* : la boue – naturelle, volcanique et radioactive – inhibe de façon marquée l'œdème dès la troisième heure de traitement et tend, avec le temps, à provoquer un effet proche de celui manifesté par l'hydrocortisone et bien supérieur à celui provoqué par l'indométabine et le salicylate de sodium.

### Eau

#### *Appareil cardio-circulatoire*

*Principe* : effets de l'eau sulfurée du « Pozzo Fango » de Vulcano sur un myocarde de rat :

- *in vivo* sous forme d'aérosol et par voie intraveineuse,
- *in vitro* sur des coeurs isolés de rats perfusés par une solution de Ringer-Locke (thermorégulée à 37°C, oxygénée et à la pression constante de 40 mm de mercure, = perfusion de Langerdorff).

#### *Résultats*

- *in vivo*, les électrocardiogrammes des animaux soumis à un aérosol d'eau sulfurée (28-30°C) permettent de déceler, après 5 minutes de traitement, une nette diminution de la fréquence cardiaque. Des doses d'eau sulfurée isotonisée, administrées par voie intraveineuse, n'ont pas induit de modifications du tracé électrocardiographique des animaux traités.

- *in vitro*, la perfusion d'eau sulfurée entraîne des variations nettes de l'activité électrique et mécanique : significative diminution de la fréquence cardiaque avec, simultanément, réduction de la force de contraction. D'après les auteurs, ces actions chronotrope et inotrope négatives semblent dues à un effet particulier de type cholinergique exercé par l'eau sulfurée. Selon leurs hypothèses, le constituant le plus actif serait l'hydrogène sulfuré, mais ceci reste encore à confirmer lors de recherches ultérieures.

#### *Test de l'œdème expérimental à la carrhagénine*

*Résultats* : nette inhibition de l'œdème, tout à fait comparable à celle induite par les AINS. Par ailleurs,

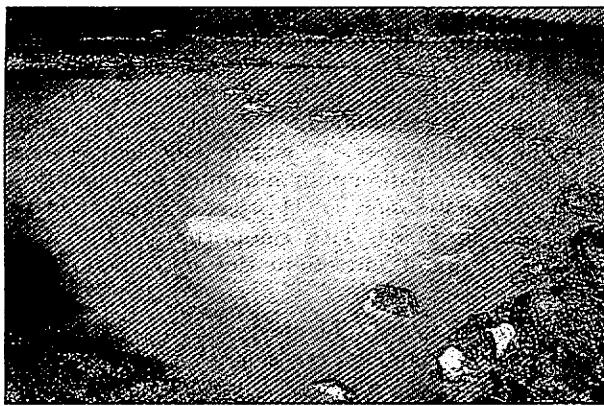


Fig. 1. – Colonie flottante saisonnière sur une fumerolle immergée sous-marine.

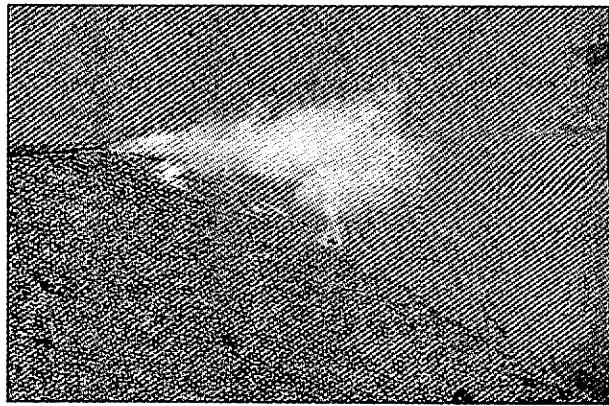


Fig. 5. – Vulcano : fumerolles sommitales.



Fig. 2. – Automédication populaire : « Bains de boue » dans un ancien bac à boues pétrolières.

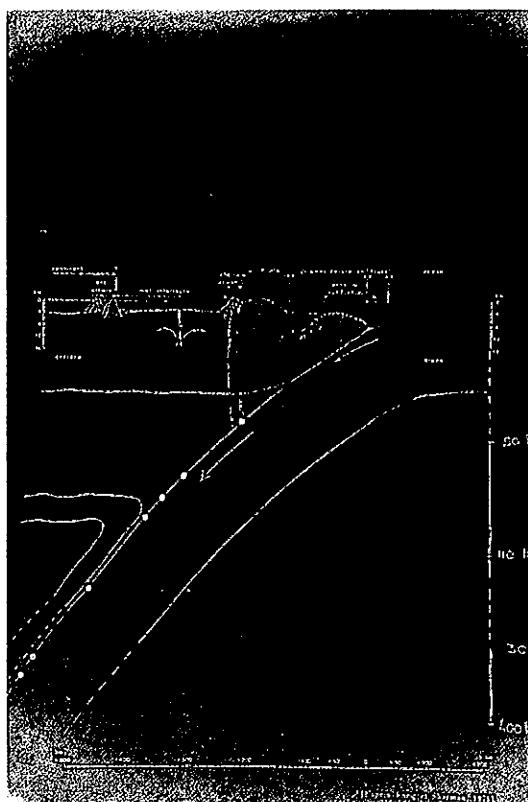


Fig. 7. – Subduction entre les plaques Afrique et Europe.

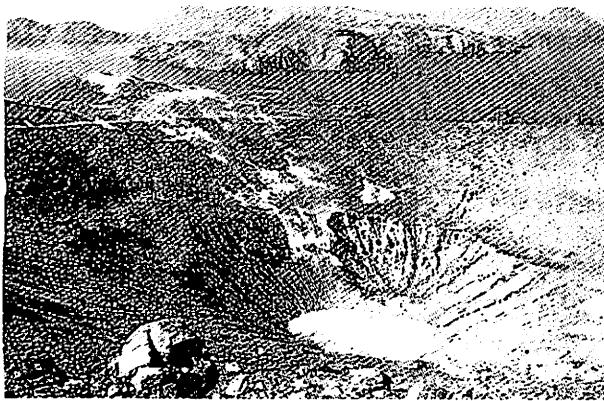


Fig. 4. – Vue plongeante dans le cratère du Vulcano.

le dosage par spectrofluorométrie de la corticostérone plasmatique et surrénale des rats traités montre une significative augmentation des taux, due à une augmentation de la biosynthèse de cette même hormone.

## Discussion

L'île de Vulcano est une unité volcanique complexe qu'il est désormais facile de modéliser.

Dans un premier temps, il nous est apparu important de représenter le Vulcano dans son ensemble (fig. 3 et 4).

D'une chambre magmatique, localisée à 2 000 mètres de profondeur, se dégagent des gaz volcaniques surchauffés et surpressés qui, par variation des gradients thermo et barométriques, se transforment chimiquement au cours de la montée le long de la cheminée. De nombreuses ramifications créent un véritable réseau de circulation des fluides.

La conséquence de ce phénomène est l'existence de deux zones d'émanations fumeroliennes :

– *Port du Levant* : lieux-dits « Acqua Calda » et « Pozzo Fango ». Les gaz, composés de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  et  $\text{H}_2$ , atteignent une température de + 100°C (fig. 2).

– *Cratère de la Fossa* : les émanations sont localisées sur la partie nord du crâne, les flancs internes et externes du cratère où la température varie de 300 à 400°C selon les périodes d'activité (fig. 5).

Le gaz y sont les  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  ; les événements sont tapissés, outre le soufre, par des cristaux de chlorure d'ammonium.

Lors de leur circulation à travers le cône, les gaz volcaniques traversent plusieurs aquifères. Cette constatation est la base du raisonnement qui nous a conduit à modéliser la dynamique qui alimente les sources géothermales.

## Modèle proposé

Le volcan, immergé au 4/5, est un amoncellement de matériaux soudés lors de leur refroidissement, comportant des vides si importants que *le sous-sol est entièrement baigné par le milieu marin*, dont l'inertie est très grande.

La partie insulaire du volcan reçoit des précipitations atmosphériques (fig. 6). La porosité du matériau est très grande, le ruissellement peu actif, mis à part des ravines qui en attestent la violence. Il se constitue une modeste *nappe aquifère d'eau douce*. Celle-ci, qui marque deux niveaux piézométriques très fortement contrastés (avec remplissage de novembre à février, écoulement de février à novembre, sans autre apport que des orages locaux), rejoint le niveau de base *sans se mêler à l'eau de mer*. Pour des raisons de densité, de pression barométrique, les deux nappes flottent l'une sur l'autre.

*L'aquifère d'eau douce* finit par s'écouler par l'intermédiaire de petits chenaux, subordonnés à des cou-

rants de densité, avant de disparaître par dilution et diffusion.

*L'activité volcanique est le moteur* qui anime tous les autres paramètres évalués au cours de nos recherches. Des émissions fumeroliennes immergées remontent le long de la cheminée, s'engagent dans des voies privilégiées de circulation pour alimenter des fumerolles situées en pleine mer, sur la plage, à mi-pente et au cratère de la Fossa. Très caloporeuses, l'énergie qu'elles dissipent entretient des mouvements de convection.

La quantité de gaz véhiculé est très importante : le dégagement turbulent, perçu sous forme de bouillonnement, est un second moteur qui assure le brassage des eaux quelle que soit leur composition initiale ; il crée des mélanges dont le caractère commun est d'être saturé de gaz.

*Le facteur altitude* joue également un rôle. La dynamique barométrique de tous les fluides (eau et gaz) se dissipe de bas en haut et diffuse très largement à travers le matériel rocheux dans toute la partie émergée du volcan.

L'activité fumerolienne devient très discrète. Elle a été découverte localement par le plus grand des hasards lorsque des forages ont été entrepris pour alimenter des résidences de loisirs.

Les gaz volcaniques se dissolvent dans l'eau en fonction de leur :

- pression d'émission,
- température, elle-même subordonnée à la plus ou moins grande proximité de la cheminée,
- courbe de solubilité.

A son contact, tous les fluides sont vaporisés, qu'il s'agisse des gaz volcaniques ou de l'eau dans ses deux faciès, salin ou dulcaquicole.

Dans ce contexte, une opportunité très limitée s'offre à la vie : seules quelques espèces ont accès au milieu fumerollien. Leur survie est possible en raison de leur caractère primitif. *L'étroitesse de la niche écologique* permet un envahissement quasi monospécifique avec les espèces algales et bactériennes citées précédemment.

Dans le modèle de Vulcano, il importe de mettre en évidence *trois paramètres* :

- *passifs* : cas de l'eau de mer ;
- *actifs faibles* : limités à des écarts saisonniers : cas de la nappe d'eau douce insulaire ;
- *actifs dynamisants* : la production de gaz et la dissipation de l'énergie calorifique sont les deux moteurs qui diversifient les sites sur lesquels nous avons déployé nos études (fig. 7).

## LIPARI

Lipari est le chef-lieu de l'archipel, la plus grande des îles Eoliennes (38 km<sup>2</sup>).

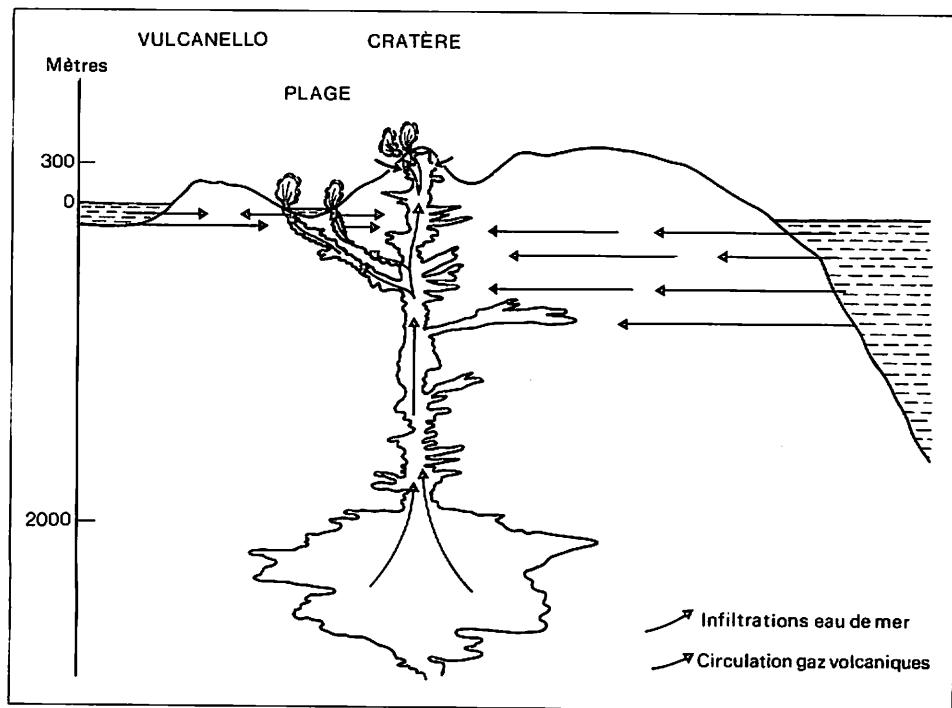


Fig. 3. – Pénétration latérale de l'eau de mer dans la masse du cône de Vulcano, immergé aux 4/5.

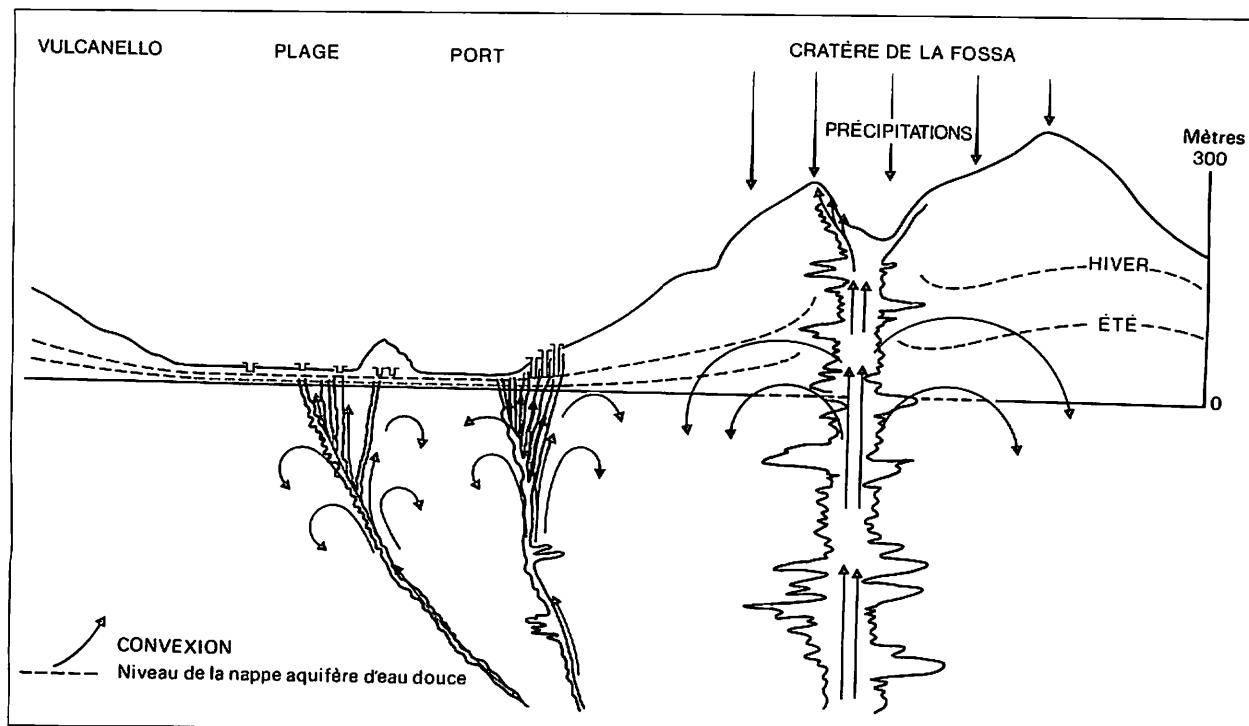


Fig. 6. – Modélisation du fonctionnement du Vulcano dans son contexte de submersion partielle en milieu salin.

L'historique et la géologie de l'île ont été largement traités dans le second rapport. Nous considérons ici ces notions pour acquises.

Les manifestations endogènes de l'activité volcanique de l'île sont : fumerolles, solfatares et sources thermales.

A la demande de la Municipalité, nous avons engagé une étude sur les thermes antiques de San Calogero avec pour objectif de réactualiser les données existantes de manière à consolider le dossier du thermalisme éolien, facteur important du développement touristique futur de l'île.

### Thermes de San Calogero

#### Localisation

Ils sont situés au Sud-Ouest de l'île, à 40 mètres d'altitude et à 200 mètres de la mer, dans une vallée formée de laves.

#### Description

Au griffon, l'eau, incolore et inodore, géothermale (47°C), s'écoule dans un canal naturel jusqu'à la « tholos », coupole d'origine mycénienne, utilisée comme salle d'inhalation. Le fond du canal est tapissé d'un sédiment blanchâtre pulvérulent mais cristallisé : bicarbonate de sodium colonisé par une population de Cyanophytes, dense, vert cru.

#### Propriétés physiques

La température est l'unique paramètre suivi depuis 1872 (tableau n° III et fig. 11, rapport 09/88-02/89) : il est intéressant de noter la diminution de 50 p. cent entre la première analyse (1872) et celle de 1988.

Les oscillations des valeurs de pH sont données à partir de 1933 (tableau n° II, rapport 09/88-02/89).

#### Propriétés chimiques

Les références bibliographiques relatives aux analyses chimiques des eaux des thermes de San Calogero apparaissent voici un siècle : G. Arrosto, 1872 ; V. Chirone, 1882 ; A. Cabella, 1906 ; E. Olivieri, 1933 ; C. Cavallaro, 1954 ; G. Stagno d'Alcontres et G. Cimino, 1978.

Le *bilan analytique* est le suivant (tableaux n° XXIV et XXXII, rapport 09/89-02/90) :

- prépondérance des ions sulfates, bicarbonates, sodium, calcium, chlore et magnésium ;
- parmi les éléments traces, fluor et fer sont nettement prépondérants.

Nous avons tenté d'effectuer une comparaison de cette source avec deux autres émergences de l'île, l'une située au pied du Monterosa à l'Ouest (2L, Canetto di Dentro) tandis que l'autre est dans la commune même de Lipari (3L, Santa Lucia).

Les résultats physicochimiques de 2L et 3L sont répertoriés dans les tableaux n° XXV et XXVI du rapport 09/89-02/90.

La représentation graphique relative à l'analyse physicochimique de nos trois sources de Lipari, 1L à 3L, nous permet de les comparer (fig. 8).

#### Bilan :

– *effet géothermal* illustré par le pouvoir caloporeur des sources 1 et 2L ;

– pics de sodium et de chlore : *pénétration profonde* dans le sous-sol de l'île *du milieu marin* ;

– pic de fluor très marqué pour les trois sources expliqué par *l'environnement volcanique régional*.

#### Biologie

– Prélèvement : canal d'écoulement naturel des eaux de San Calogero.

– Matériel d'étude : culture *in vitro* sur milieu liquide de Von Stosch en vue d'un enrichissement.

– Résultats : l'étude systématique a été développée dans le second rapport de février 1989. Les clichés effectués en microscopie photonique puis électronique à transmission puis à balayage nous ont permis de conclure à l'existence d'une importante colonie de Cyanophycées parfois en coenobiose avec des cellules bactériennes.

#### Propriétés thérapeutiques

La médecine a fait d'énormes progrès au cours de ces dernières années, mais pour ce qui est des indications thérapeutiques de ces eaux, nous nous référerons toujours aux observations de Chirone de 1880 :

– en petites quantités, elles augmentent l'appétit ; en plus grande quantité, augmentation des mouvements péristaltiques, douleurs abdominales = purge.

– Pouvoir antidyspeptique et neutralisant : indiquées pour les problèmes de stase biliaire, lors de surcharges et de calculs hépatiques ; Action sur les calculs rénaux et les coliques néphrétiques.

– Gynécologie : dysménorrhées, stérilité, impuissance (?) ; bains ou douches.

– Rhumatologie : goutte, arthrite, névralgies d'origines diverses.

– Dermatologie : prurits, eczémas, psoriasis, pitiriasis versicolor, ulcères de longue date, dermatites sèches.

La grotte inhalatoire ou « stufa », seul vestige historique de cet établissement (cf. rapport n° 2, février 1989) est utilisée pour certaines indications :

– rhumatismes et névralgies.

– sphère oto-rhino-laryngologique : coryza, laryngites, pharyngites et bronchites.

Il serait nécessaire de réactualiser ces données en proposant à une équipe médicale hospitalière sicilienne d'effectuer une expérimentation sérieuse pendant quelques mois.

#### Bilan

La ville de Lipari souhaite ouvrir l'établissement thermal fermé au public depuis plusieurs années.

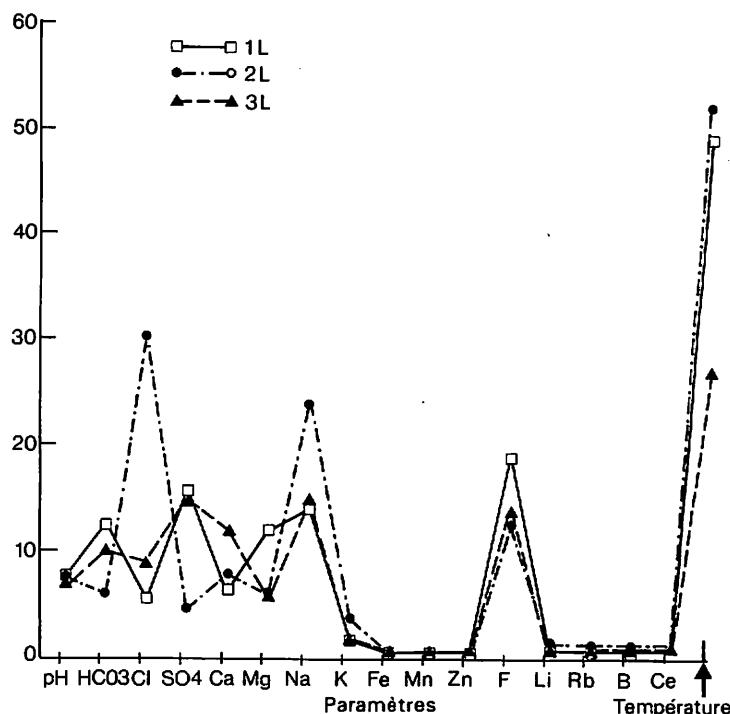


Fig. 8. – Représentation graphique de la composition ionique des sources minérales de l'île de Lipari. 1L : San Calogero, 2L : Caneto di Dentro, 3L : Santa Lucia.

Il nous paraît important de souligner les *lignes directrices* essentielles à la réussite d'un tel projet. Il ne suffit pas que la commune exprime à haute voix son désir de réanimer les thermes, elle doit financer l'opération, n'intervenir en aucun cas pour des problèmes techniques de chantier et garder présents à l'esprit deux objectifs :

– sauvegarder le site antique, notamment l'inhaltatorium qui est sans doute l'une des premières manifestations de la thérapeutique thermale en Sicile ;

– développer deux sortes de technologies : prospections géophysiques (plusieurs méthodes possibles), cartographie simultanée du radon et du gaz carbonique. Ces recherches conduiront à un captage profond de l'eau thermale ainsi qu'à la récupération du CO<sub>2</sub> qui, dans les conditions actuelles, se dissipe dans l'atmosphère en déposant l'hydrogénocarbonate de sodium. En d'autres termes, les installations actuelles ne sont pas conçues pour capter correctement l'eau thermale dans les conditions physiques et chimiques de son émission.

Quand au cadre hygiénique de l'aire d'émergence, il s'agit là d'une notion qui n'a pas été abordée avec le sérieux exigible.

#### En résumé

Voici les différentes étapes à respecter pour développer une exploitation correcte du patrimoine hydrothermal de l'île.

*L'hydrogéologie* est à reprendre à son début ; programmer et soutenir les mesures et les recherches jusqu'à leur aboutissement :

- définition du cadre géologique,
- suivi régulier de l'état des sources et de leur réservoir,
- établissement d'un périmètre de protection efficace autour du centre indispensable pour la sauvegarde du site.

#### Clinique

- expérimentation clinique rigoureuse de manière à déterminer des indications thérapeutiques précises, en relation avec une équipe de CHU ;
- implantation d'une assistance médicale constante ;
- régulation du nombre de curistes en fonction des capacités thermales ;
- respect de la très stricte application des indications médicales.

#### Aménagement et infrastructure :

- réaménagement de l'établissement en sauvegardant les structures antiques existantes ;
- construction d'une annexe hôtelière à l'écart ;
- organisation d'un service urbain de navettes ;
- construction d'une infrastructure récréative, sportive et culturelle.

Nous insisterons sur le fait que le développement des intérêts touristiques ne doivent en aucun cas primer par rapport au caractère scientifique et médical. Le juste équilibre reste à établir.

# Le gisement thermal

## Nouvelles techniques de captages

M. LOPOUKHINE  
(Villeurbanne)

### RÉSUMÉ

Les eaux minérales acquièrent leur chimisme spécifique par interaction avec les roches, dans leurs conditions de gisement. Les techniques modernes de forage et de métrologie permettent, en les captant en profondeur, de les protéger contre les risques de contamination liés à l'activité anthropique en surface. Néanmoins, le fluide ainsi produit est souvent plus instable que l'eau de la source initiale ; sa sensibilité aux variations de conditions thermodynamiques et physico-chimiques doit être simulée *in situ* et par calcul, permettant ainsi d'optimiser les conditions d'exploitation de chaque eau minérale en fonction de ses caractéristiques chimiques.

**Mots clés :** Eau thermominérale - Techniques de forage - Stabilité chimique - Equilibres - Exploitations.

### SUMMARY

**Thermal water field : the new catchment techniques.** - Mineral waters do acquire their specifical chemicals by interaction with rocks, at their deep layer conditions. Modern drilling and metrologic technics allow their in depth catchment and protection against pollution risks related to surface anthropics activities. Nevertheless, the so-produced fluid may be more unstable than initial mineral spring water. Its sensibility to thermodynamic and physicochemical changes has to be calculated and simulated *in situ*, allowing so to define for each mineral water a set of exploitation conditions adapted to its chemical characteristics.

**Key words :** Thermomineral water - Drilling techniques - Chemical stability - Equilibrium - Exploitation.

Le développement de l'utilisation des techniques isotopiques appliquées à l'étude des eaux thermominérales, a permis de montrer que ces eaux sont en réalité des eaux de pluie qui, s'infiltrant en un lieu donné, suivent, à la faveur d'une convergence de facteurs géologiques très variés, un cheminement souterrain plus ou moins profond, plus ou moins rapide.

Au cours de ce transit souterrain, elles s'échauffent, et progressivement acquièrent une minéralisation originale, aux dépens des minéraux constituant les roches au sein desquelles elles percolent.

BRGM Service des Eaux Thermales et Minérales, 29, boulevard du 11 Novembre 1918, BP 6083, 69604 - VILLEURBANNE Cedex

Tirés à part : M. Lopoukhine, adresse ci-dessus.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

Puis, dès qu'un concours de circonstances favorables (fractures, topographie, pression, température) le permet, elles amorcent leur remontée, jusqu'à aboutir en surface sous forme de sources (fig. 1).

Température, composition chimique et débit constant sont donc la conséquence de la circulation de ces eaux minérales dans les domaines profonds, puis de leur émergence en surface au travers d'aquifères avec lesquels elles ne présentent en principe aucun point commun.

Dans la réalité, il est difficilement concevable qu'une telle eau profonde puisse effectivement se frayer une voie jusqu'en surface, sans être perturbée par les aquifères successifs qu'elle est amenée à rencontrer.

*C'est ainsi que nombre de sources ayant servi de référence aux arrêtés d'autorisation d'exploitation initiaux, sont en réalité des mélanges naturels entre un pôle minéral et thermal*

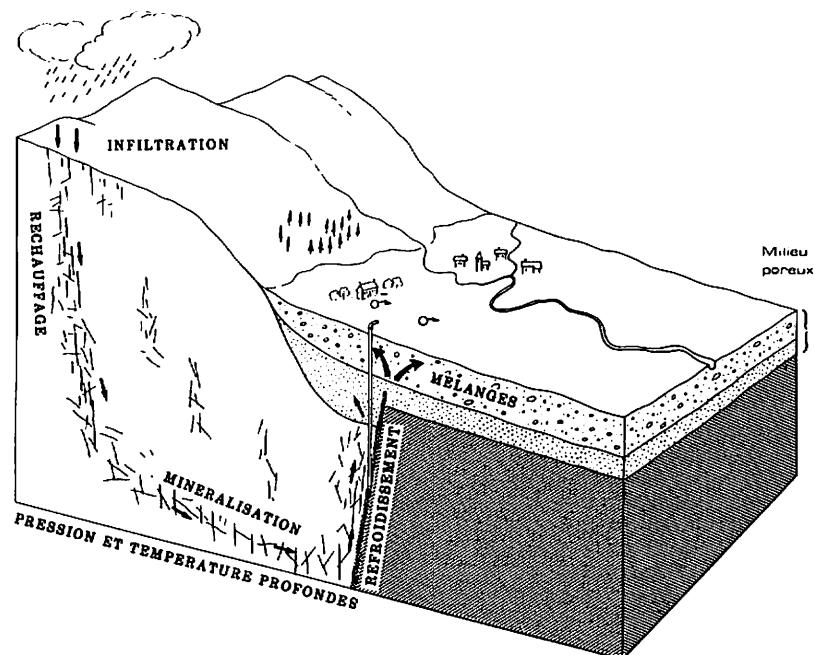


Fig. 1. - Les systèmes hydrothermaux.

profond, et une proportion, généralement faible, d'eau banale superficielle (nappe phréatique ou aquifère peu profond).

Le succès croissant de l'utilisation thérapeutique de ces eaux a pour conséquence un accroissement sensible de la demande en eau thermominérale ainsi qu'une urbanisation galopante de la plupart des stations thermales.

Les sources (les anciens griffons) se retrouvent donc, le temps passant, en plein centre d'une zone fortement urbanisée, donc génératrice de risques de pollutions.

Cette dégradation de leur environnement peut se transmettre aux sources, particulièrement *via* la fraction d'eau banale qui souvent entre dans leur composition.

La sécurité d'exploitation est donc recherchée, grâce à la notion de gisement thermal, qui autorise le captage de l'eau thermale en profondeur en l'isolant de son environnement hydrogéologique vulnérable.

En outre, cette solution présente deux avantages fondamentaux :

– elle permet généralement une augmentation de productivité par rapport à la source ;

– elle autorise plus de souplesse d'exploitation et donc une meilleure gestion des ressources en eau.

La généralisation du recours au forage a également permis d'identifier et de quantifier un certain nombre d'évolutions naturelles de l'eau minérale qui, auparavant, se produisaient progressivement depuis le sous-sol jusqu'à l'établissement thermal (exemple type :

décroissance de la teneur en sulfures entre le griffon et l'établissement thermal).

La transposition parfois brutale de l'eau thermale dans ses conditions de gisement aux conditions de surface a ainsi permis de mettre en évidence le rôle prépondérant de facteurs tels que pression, température, teneur en oxygène, dans la stabilité de la qualité de l'eau exploitée.

Des solutions techniques particulières concernant l'équipement du forage, le mode de pompage, le transport et le stockage de l'eau ont donc également été mises au point.

*C'est l'ensemble de ces techniques spécifiques que l'on peut regrouper sous le terme de nouvelles techniques de captage, car c'est cet ensemble de choix techniques qui garantira la qualité de l'eau livrée à l'établissement thermal.*

## ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

On objecte souvent que le captage par forage représente un risque de voir disparaître l'eau minérale. En réalité, l'évolution des technologies a permis ces dernières années d'enrichir considérablement la panoplie des précautions à mettre en œuvre au cours de cette phase du développement d'une station.

La mise en œuvre de ces techniques permet maintenant de considérer comme négligeable, le seul risque réellement inadmissible, celui d'une *perturbation irré*

versible des caractéristiques de débit et de qualité de la source. Plusieurs précautions sont à prendre.

### Une étude et une compréhension du système thermal

L'étude conjointe de la chimie des sources minérales et de leur environnement hydrogéologique permet généralement de répondre aux questions suivantes :

- Quelle est l'origine de l'eau minérale ?
- A quelle profondeur a-t-elle circulé et quel est son âge (durée du cycle souterrain) ?
- Quelles sont ses caractéristiques chimiques en profondeur, répondent-elles aux *desiderata* de l'exploitant ?
- Quelle est l'ampleur de l'influence perturbatrice de l'environnement hydrogéologique ?
- Où et par quels mécanismes s'effectue la remontée de cette eau vers la surface ?
- Quelles sont les relations entre cette zone de remontée (d'alimentation des sources) et les griffons de surface ?

### La détermination des sites les plus favorables pour un captage par forage

Celle-ci s'effectue généralement par une étude de la dispersion dans les sols des gaz accompagnant les eaux minérales profondes (radon et dioxyde de carbone), couplée avec une analyse de la fracturation des roches et, quand c'est possible, avec les techniques de prospection géophysique.

On déduit ainsi la géométrie profonde des fractures servant à amener l'eau jusqu'en surface.

Toutes ces informations une fois réunies, on dispose de tous les éléments permettant de décider de l'opportunité de procéder à un captage par forage avec les meilleures chances de succès.

## LE FORAGE

### Problème posé

Il s'agit de retrouver en un point donné, généralement aussi proche que possible du lieu d'exploitation, une eau de la même composition chimique que celle mentionnée dans l'arrêté d'autorisation ; ce faisant il faut également :

- ne pas mettre en péril les sources existantes,
- pouvoir isoler la future production d'eau minérale de son environnement hydrogéologique « banal », qui constitue, on le sait, le principal vecteur potentiel de contaminations bactériologiques.

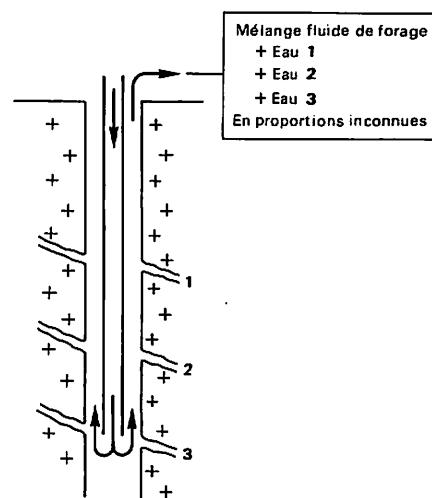


Fig. 2. – Forage rotary à la boue ou à l'eau.

### Solution de principe

L'énoncé en est simple : il faut associer à la technique de forage, une ou des méthodes permettant d'identifier aussi instantanément que possible, de différencier et de séparer les différents niveaux producteurs d'eaux rencontrés.

Il est donc avant tout impératif d'organiser un suivi physico-chimique continu de la qualité de l'eau en cours de foration.

### Evolution des méthodes mises en œuvre

En surface, suivre en continu l'évolution des caractéristiques chimiques d'une eau (au moins de certains de ses paramètres les plus représentatifs) ne constitue pas une difficulté majeure.

Le plus difficile est d'amener en surface un fluide représentatif de chacun des différents niveaux rencontrés, en cours de foration.

*La technique de forage au rotary* requiert l'injection d'un fluide de forage (boue ou eau) (fig. 2) ; on ne peut donc que suivre l'évolution des caractéristiques de ce fluide, une fois de retour en surface, en espérant que la rencontre et le mélange avec une fraction souvent faible d'eau minérale se traduise par des variations détectables.

En réalité dans ces conditions, les seuls indices à peu près significatifs sont d'éventuelles traces de gaz dans le fluide de forage, une variation de sa température ou de sa conductivité électrique.

*Le forage à l'air comprimé* (dit *au marteau fond de trou*), constitue un progrès majeur : au lieu d'eau ou de boue, on injecte de l'air comprimé. La méthode est moins

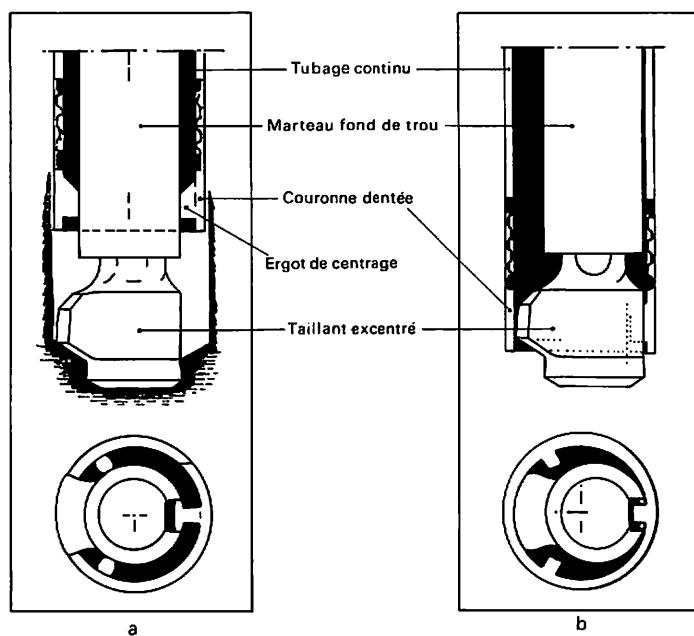


Fig. 3. – Principe du tubage à l'avancement (dispositif Saturn d'après document Stenuick 1982 modifié).

perturbatrice, moins contaminante pour le sous-sol et l'information de retour plus exacte.

Néanmoins, le problème posé par les forages recouvrant plusieurs niveaux aquifères successifs reste entier. L'information recueillie ne sera exacte que pour le premier niveau rencontré. Or, il n'est pas rare, notamment lors de forages en terrain granitique, de recouper suivant le type de fracture rencontré, deux à trois types d'eaux de composition chimique très contrastée.

Deux innovations techniques récentes constituent une solution adaptée, au moins dans un certain nombre de cas :

– *La technique du tubage à l'avancement* (fig. 3) permet d'individualiser, identifier et isoler progressivement en cours de foration, l'eau que l'on vient d'atteindre, et les niveaux aquifères déjà passés.

– De même, *le forage à l'air comprimé en circulation inverse* : seul le fluide rencontré au fond du forage est ramené en surface (fig. 4).

L'utilisation de ces dernières techniques (air comprimé, tubage à l'avancement et circulation inverse) est malheureusement limitée souvent par des conditions de géologie ou de profondeur de l'objectif à atteindre.

Que faire donc quand elles ne peuvent être utilisées ?

La solution idéale dans ce cas consiste à réaliser un sondage en petit diamètre (100 mm) en reconnaissance, équipé d'une façon tout à fait provisoire de la manière la plus économique possible.

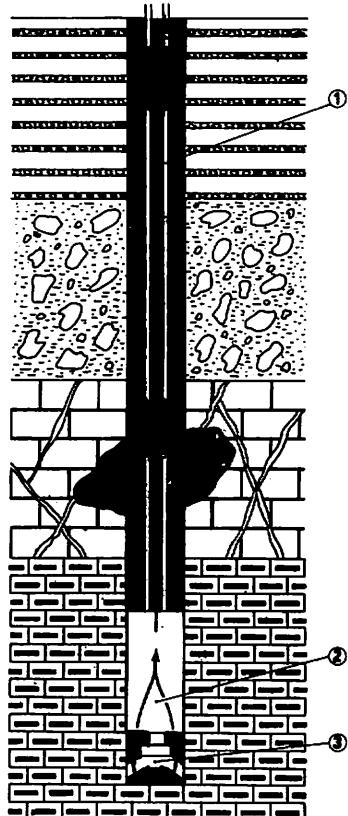


Fig. 4. – Principe de la circulation inverse → sens de circulation du fluide.

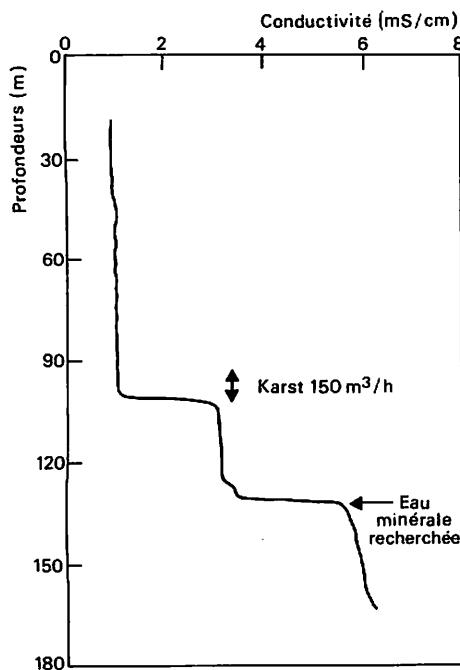


Fig. 5. - Profil de conductivité électrique.

Une fois parvenu à la profondeur fixée, on réalise une diagraphie physico-chimique (profil continu) sur toute la profondeur du forage, soit en pompage, soit sur le forage au repos ; on peut ainsi enregistrer : température, conductivité (minéralisation), oxygène dissous, potentiel d'oxydoréduction et pH.

La comparaison des profils ainsi obtenus instantanément suffit souvent pour caractériser le niveau producteur recherché (fig. 5).

On est alors à même, soit de transformer le sondage, soit de réaliser un nouveau forage d'exploitation, équipé (tubé, crépiné et cimenté), de manière à isoler le niveau producteur recherché d'autres venues d'eau « parasites ».

Si l'indication fournie par ces profils n'est pas suffisante pour différencier le niveau intéressant, on peut les compléter par des prélèvements réalisés en profondeur, aux cotes correspondant aux aquifères successifs au moyen d'une micropompe de prélèvement. Les échantillons ainsi prélevés peuvent être analysés, soit sur le chantier, soit en laboratoire (tableau I).

TABLEAU I. - Prélèvements à différentes profondeurs : le niveau 3 ne convient pas (trop de fluor et teneur en gaz trop élevée).

N°	Prof. m	Na mg/l	Ca mg/l	F mg/l	GLR Vol
1	110	650	610	1,1	4,7
2	145	650	600	1,5	5,0
3	190	666	500	4,0	7,5

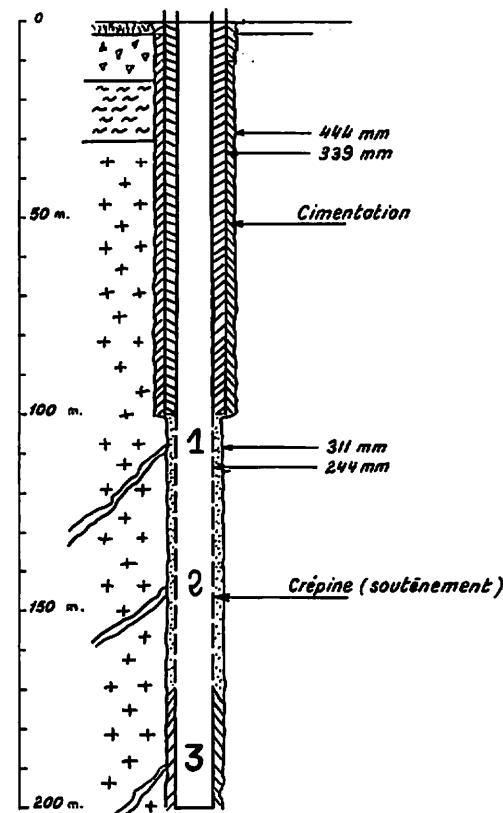


Fig. 6. - Suite aux prélèvements réalisés, il a été décidé d'aveugler le niveau 3, seuls les niveaux 1 et 2 produiront.

Dans l'exemple présenté figure 6, les résultats des analyses ainsi réalisées ont conduit à aveugler le niveau 3 pour les raisons suivantes :

- concentration en fluor trop élevée,
- une valeur du « gaz liquid ratio » (GLR = volume de gaz/volume d'eau) trop importante, pouvant entraîner des difficultés d'exploitation (cavitation de pompe).

Le fond du forage a donc été cimenté de façon à ne mettre en production que les niveaux 1 et 2.

### OPTIMISATION DES CONDITIONS DE PRODUCTION, DE TRANSPORT ET DE STOCKAGE

Une fois captée, l'eau thermominérale doit, aux termes de la loi, être livrée au public, telle qu'elle se présente à l'émergence.

Les facteurs pouvant influer sur la stabilité de l'eau produite sont :

- utilisation de matériaux mal adaptés à la chimie de l'eau (tubages, canalisations et stockage) ;

- conditions d'exhaure de l'eau (matériaux, pompes...) ;
- variations de pression, de température ;
- oxygénéation.

## Choix des matériaux

La sélection des matériaux les mieux adaptés, du point de vue de leur inertie vis-à-vis de l'eau minérale, est une contrainte constante, quel que soit le type de captage envisagé. Ce point sera abordé dans la discussion du comportement des différents types d'eau thermominérale.

## Pompes centrifuges immergées

On objecte parfois que le brassage mécanique intense par les PCI contribue à déstabiliser certaines eaux thermales ; en réalité, ce phénomène est négligeable si l'on maintient une pression d'exhaure suffisante.

Au contraire, on peut même considérer que les PCI, compte tenu de la souplesse d'exploitation qu'elles procurent et des possibilités techniques de maintien en pression de l'eau dans le circuit de distribution, constituent une solution recommandable, sauf peut-être pour certaines eaux très carbogazeuses avec lesquelles des problèmes de cavitation peuvent se présenter.

## Pression et oxygénéation

D'une façon générale, il faut, dans la mesure du possible, respecter les règles suivantes :

- maintenir tout le réseau de production, transport et stockage de l'eau au moins en légère surpression ;
- éviter à tout prix le contact de l'eau avec une atmosphère non stérile, avant sa distribution au public ;
- pour certains types d'eaux ne supportant pas une oxydation, éviter tout contact avec l'atmosphère ;
- dans la conception du réseau hydraulique, interposer des dispositifs de disconnection permettant de segmenter l'ensemble du réseau de transport, stockage et distribution de l'eau thermale en plusieurs tronçons indépendants.

Le respect de ces quelques règles évitera déjà de nombreux déboires aux exploitants.

## LES EAUX THERMALES PEUVENT AVOIR DIFFÉRENTS TYPES DE COMPORTEMENT SUIVANT LEUR CHIMIE

### Eaux sulfatées

Elles sont en général stables, sauf pour les plus minéralisées d'entre-elles qui peuvent, dans certaines conditions, avoir tendance à colmater les canalisations.

### Eaux chlorurées

Elles sont aussi relativement stables, mais peuvent occasionner des difficultés d'exploitation liées à leur caractère parfois corrosif, notamment en présence d'oxygène.

L'emploi de matériaux plastiques (PVC, polyéthylène) est recommandé quand les contraintes de résistance mécanique et thermique imposées par les conditions d'exploitation de surface le permettent.

Les aciers ordinaires sont à proscrire ; même les aciers inoxydables peuvent occasionner des déboires, suivant la nuance choisie.

On doit tenir compte notamment de la composition chimique détaillée (notamment pH, chlorures, présence de fluor) et de la gamme de température envisagée.

### Eaux sulfurées

Si l'on se base sur l'exemple de la France, deux types de comportement se présentent.

*Les eaux de type pyrénéen*, de pH basique, sont relativement stables ; les espèces soufrées qui en constituent l'intérêt peuvent être conservées jusqu'aux points d'utilisation, moyennant un minimum de précautions (matériaux inertes, éviter l'aération).

*Les eaux de type alpin* sont beaucoup plus instables, les précautions à prendre doivent porter sur les points suivants :

- étanchéité et maintien en pression de tout le système de production, transport et stockage. En effet, toute introduction d'air se traduit rapidement par une oxydation de  $H_2S$  et une agressivité de l'eau,
- emploi de matériaux inertes.

### Eaux carbogazeuses

Deux cas se présentent également :

– celles dont la minéralisation reste faible (par exemple, les eaux froides issues de massifs calcaires) sont le plus souvent stables et ne posent pas de problème majeur ;

– nombre de ces eaux ont par contre une minéralisation plus élevée, correspondant à la présence de  $CO_2$  dissous, parfois à des concentrations extrêmes (jusqu'à plus de 20 volumes de gaz par volume d'eau).

Ces eaux sont évidemment extrêmement instables. La moindre dépressurisation entraîne un dégagement du  $CO_2$  et une évolution du pH.

Ces évolutions (fig. 7) peuvent être simulées au moyen d'un logiciel mis au point par le BRGM.

Pour ces calculs, différents paramètres doivent être définis :

- composition chimique de l'eau et des gaz à l'émergence ;

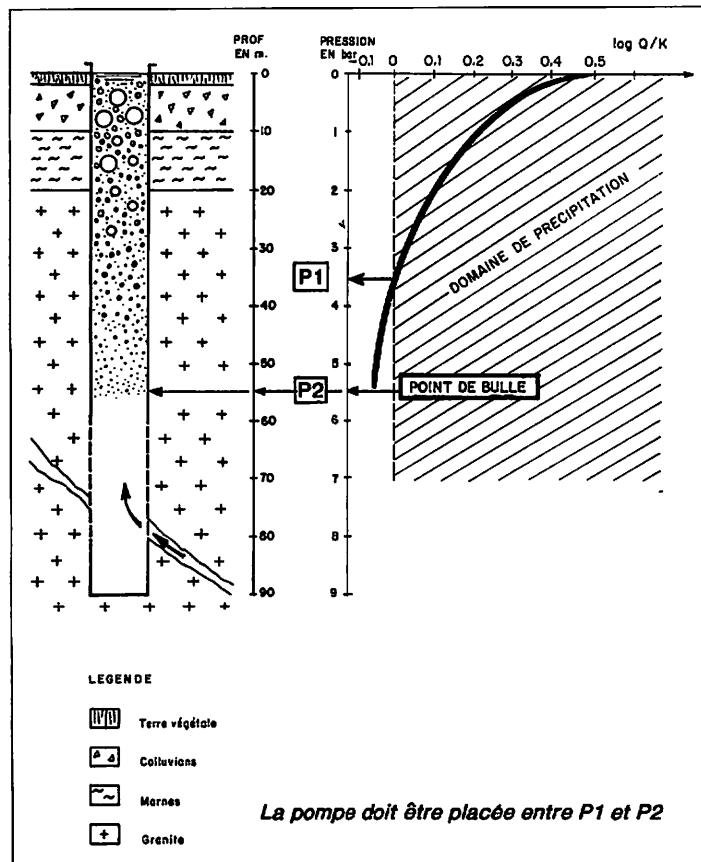


Fig. 7. – Equilibre chimique vis-à-vis des carbonates. A partir de P1, l'eau devient entartrante. A partir de P2, l'eau commence à dégazer.

- débit d'eau et de gaz à l'émergence ;
- température de surface et en fond de puits.

Les modélisations réalisées dans l'exemple proposé (eau minérale gazeuse produite par un forage de 90 m dans le granite) indiquent une pression de point de bulle (apparition de la première bulle de gaz, individualisée à partir du gaz initialement dissous dans l'eau minérale) à 5,5 bars (soit, dans cet exemple, à la cote - 55 m).

A partir de ce niveau, le volume gazeux va croître jusqu'à un maximum à la pression atmosphérique.

Cette évolution entraînera évidemment une évolution du pH de l'eau, donc un bouleversement de l'équilibre calcocarbonique, représenté par l'évolution de l'index de saturation  $\log Q/K$ ; l'eau aura tendance à devenir incrustante à partir de 3,5 bars.

On peut ainsi, au vu de ces résultats, recommander une optimisation des conditions d'exploitation de cette eau :

- positionnement de la pompe immergée de telle manière que, quel que soit le débit choisi, elle soit tou-

jours surmontée d'une colonne d'eau supérieure à 55 m, afin d'éviter les difficultés liées à une cavitation ;

– maintenir une pression de la pompe de refoulement en surface supérieure à 3,5 bars, afin de limiter les problèmes d'incrustation dans le forage ou les canalisations.

Sur cet exemple, afin d'éviter des difficultés liées à une cavitation, la pompe immergée sera positionnée si possible à une cote voisine de 55 m. De plus, le risque de colmatage des canalisations sera minimisé en maintenant une pression du réseau de 3,5 bars relatifs.

Un autre aspect particulier des eaux carbogazeuses concerne leur évolution au contact de l'air (fig. 8).

Cet exemple représente l'évolution d'une eau de faciès bicarbonaté sodique, mais contenant néanmoins près de 100 mg/l de Ca.

La courbe 3 (oxygénation forcée) montre l'évolution chimique induite par les aérobains : en 1/4 d'heure, le barbotage d'air provoque une précipitation de 60 mg/l de calcium ; de grosses difficultés en maintenance sont donc à prévoir au niveau de ces baignoires.

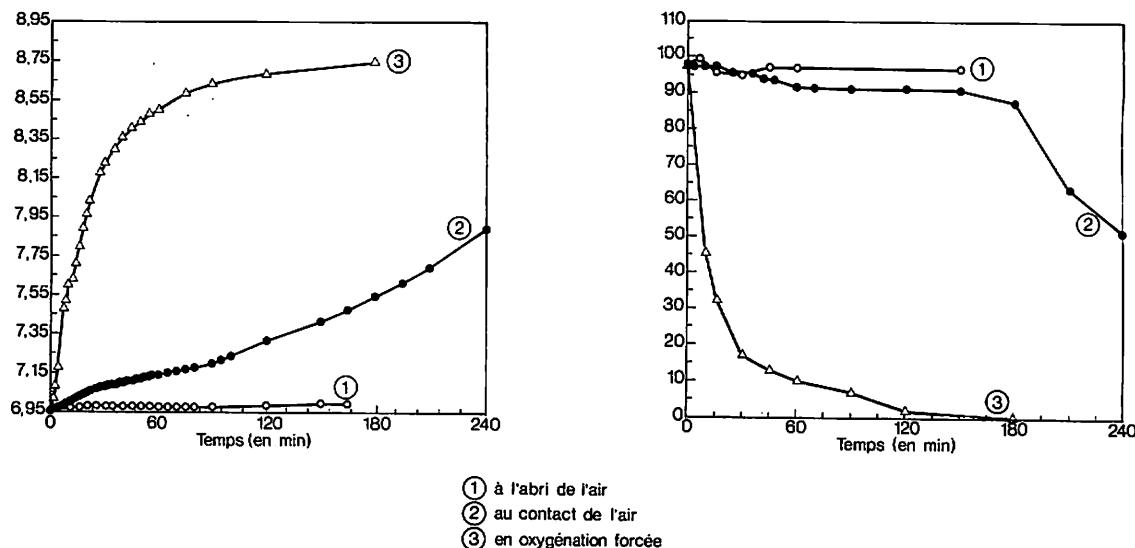


Fig. 8. – Evolution du pH. Evolution du calcium.

## RÉCHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT DES EAUX MINÉRALES

Il est évidemment très rare qu'une eau thermominérale se présente naturellement à sa température idéale d'utilisation dans un établissement thermal. Il est donc presque toujours nécessaire soit de refroidir, soit de réchauffer cette eau. Or la température est le facteur thermodynamique auquel les équilibres chimiques sont le plus sensibles.

Dans un cas comme dans l'autre, un mauvais choix, ne tenant pas compte des caractéristiques spécifiques de chaque eau thermominérale, peut entraîner des :

- surcoûts d'exploitation,
- difficultés de maintenance considérables.

Les processus de réchauffage et de refroidissement peuvent cependant être optimisés après avoir simulé au préalable par informatique l'évolution du comportement de l'eau en fonction des variations de température.

Un exemple de simulation réalisée avec une eau de type bicarbonaté et chloruré sodique, riche en fer (4 mg/l), avec une température d'émergence de 28°C et un pH de 6,31; montre les résultats suivants (fig. 9).

### A la température d'émergence

A 28°C, l'eau thermale se trouve dans le domaine de précipitation du carbonate de fer, ce minéral va donc précipiter. Ce sont ces types de dépôts orangés que l'on peut observer autour du griffon.

### Au cours du réchauffage

En augmentant la température jusqu'à 80°C, les car-

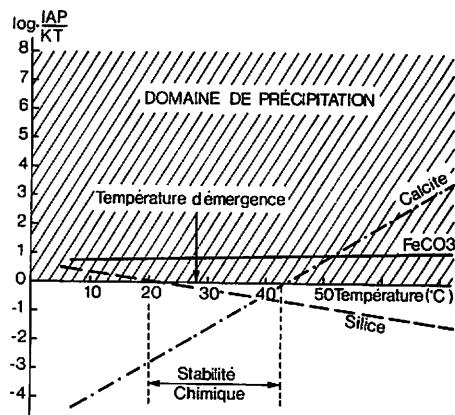


Fig. 9. – Exemple de simulation.

bonates de fer continuent à précipiter et l'on entre dans le domaine de précipitation de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) à partir de 43°C. Par contre, la silice restera en solution pendant ce réchauffage.

### Au cours de refroidissement

Les calculs indiquent qu'en abaissant la température jusqu'à 10°C, les carbonates de fer précipiteront toujours et la silice ne pourra se déposer que pour des températures inférieures à 20°C.

Les résultats de cette simulation permettent ainsi de définir un domaine de température à l'intérieur duquel l'eau thermale sera chimiquement stable. Pour en optimiser l'exploitation, on peut donc recommander :

- pour maîtriser le dépôt du carbonate de fer : une défermentation de l'eau thermale ou une sélection d'équipement

ments adaptés à la présence de dépôts (échangeurs à brosse, réservoirs souples facilement nettoyables...),

- pour réchauffer ou refroidir l'eau thermale : rester dans un domaine de température compris entre 20° et 43°C maximum.

## CONCLUSIONS

La croissance de la demande en eau thermominérale dans les stations où cette eau est utilisée à des fins thérapeutiques, ainsi que la dégradation progressive de la qualité de l'environnement de ces sites, entraînent un abandon progressif de l'exploitation des sources thermales au profit du captage en profondeur par forage.

Cette technique, rendue possible par les méthodes modernes de foration, permet de capter l'eau à des

profondeurs où elle n'est plus vulnérable à l'environnement urbain ou industrialisé.

Parallèlement, ces progrès ont permis de mettre en évidence l'impact important d'un certain nombre de paramètres tels que pression, température et oxygène, sur la stabilité de la composition chimique des eaux thermales.

La technique du captage par forage peut donc être heureusement complétée par un ensemble de solutions techniques nouvelles s'appliquant à l'équipement du forage et à l'optimisation de toutes les installations de surface jusqu'aux points de distribution.

L'ensemble de ces solutions nouvelles de captage et d'exploitation permet ainsi de préserver la stabilité de la qualité chimique et bactériologique de l'eau, en assurant également la meilleure sécurité d'exploitation possible.



# Development of thermal and mineral waters and protection from pollution sources including touristic activities

C. GARAGUNIS  
(Athens)

## RÉSUMÉ

**Essor des eaux thermales et minérales et protection contre les sources de pollution dont celles liées aux activités touristiques.** — Nous décrivons ici la valeur des sources thermales et minérales, utilisées dans les cures, qui permettent une protection vis-à-vis d'un certain nombre d'affections. Est aussi montré le besoin de maintenir intactes leurs propriétés physico-chimiques. Nous présentons les risques de pollutions des nappes aquifères souterraines par les différentes sources de pollution humaine (fosses d'aisance, engrangements, infiltration de déchets, etc.). L'essor brutal du tourisme dans les régions où se trouvent les sources thermales et minérales, lié à la diffusion plus rapide des informations, entraîne un surcroît de pollution. Nous justifions le besoin de faire des études et des investigations hydrogéologiques pour contrôler le passage de la pollution dans l'eau du sol et notamment le transit des nitrates. Il est nécessaire de classer les risques possibles en fonction de la nature du sol. Nous expliquons dans ce qui suit l'influence de la pollution sur les eaux thermales et minérales et le besoin de créer des zones de protection pour les nappes aquifères thermales et minérales. Nous présentons les particularités de trois zones de protection (zone I : apport de l'eau, zone II : protection rapprochée, zone III protection plus lointaine). Nous abordons la définition de ces zones, la limite en aval, la limite en amont et la nécessité de mettre en place des piezomètres pour les prélèvements afin de découvrir une pollution. Nous présentons un exemple portant sur les sources thermales des Thermopyles, leur axe de développement et des propositions de mesures possibles pour leur protection. Enfin, nous donnons en résumé nos conclusions pour les mesures nécessaires de protection des eaux thermales et minérales contre la pollution dont celle liée aux activités touristiques.

**Mots clés :** Thermalisme - Pollution - Critères de protection - Hydrodynamique.

## SUMMARY

We describe the validity of thermal and mineral sources for curative uses, helping to the protection of a variety illnesses. Also the necessity to keep unchanged their chemical and physical properties. We present the pollution dangers of thermal underground aquifers, from different human pollution sources (cesspools, fertilizers, solid waste leachate etc.). the abrupt touristic development of thermal and mineral sources regions, owed to the quicker spreading of information from acquaintance means, in our days, are followed by activities producing more pollution loads. We justify the necessity for the realization, of studies and Hydrogeological investigations, for the percolation of ground water pollution and especially for nitrate pollution. A classification of possible risk binded to the type of soil, are necessary. We expose in the followings the influence of pollution to the thermal-mineral waters and the necessity of the creation of protection zones, for thermal-mineral aquifers. We present the particularities of three protection zones, that will be in force for the protection of thermal and mineral waters. (Zone I water intake, Zone II near protection, Zone III longer protection). We discuss the design of these zones, the downstream limit, the upstream limit and the possibility to provide piezometers for sampling in order to discover an acute pollution. We present a case study of Thermopylae thermal sources, their orientations for development and thoughts about possible measures, for their protection. At last we summarize our conclusions for necessary measures, for the protection of thermal and mineral waters from pollution including the Touristic activities.

**Key words :** Thermalism - Pollution - Hydrodynamic - Protection criteria.

**Reprints :** National Technical University of Athens, Department of Mining and Metallurgical Engineering, Section of Geological Sciences ; Patission st. 42 ; GR 106 82 ATHENS, Greece.

**Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.**

Sources of thermal and mineral waters are attractive poles for people with curative needs and they have developed with the necessary facilities to keep and offer services to the touristic population. The pollution loads produced from tourists activities are identified and faced, in order to minimize impacts to thermal and mineral waters. The creation of protection zones around these sources, the fixing of the limits of

their perimeters and the design of suitable measures to be in force are studied. A case study for the development of Thermopylae source of thermal and mineral water is presented.

The examination of all the relevant parameters, the pollution prevention and the use of best management practices will contribute to the minimization of pollution loads guided to thermal and mineral waters.

The thermal and mineral waters are used in many places of the world from humans, because of their curative properties, known from ancient times.

Illnesses such as frequent urine, kidney stones, affection of biliary calculus, hepatic insufficiencies and indigestions, exhibit curative indications, with the use of thermal and mineral waters.

Moreover the abrupt increase of environmental pollution and his extending, creates a real danger for the alteration of the quality of mineral and thermal waters.

Already modifications to the quality of the above waters have been noticed, with alterations to the physicochemical and biological characteristics, in places where pollution occurred, owed to human activities.

The continuous development of neighbouring areas of the curative sources, the super-consumption of goods and the new style of life (disposable society) increase considerably in quantity and complexity the pollution loads.

Treatment methods became more and more complex and expensive. At simpler cases soil is called to play a role to the mechanism of depollution after careful hydrogeological studies.

### **POLLUTION SOURCES FROM HUMAN ACTIVITIES IN AREAS ACCEPTING LOTS OF TOURISTS**

The main pollution sources of mineral and thermal ground waters, from human activities in areas accepting lots of tourists, are the following :

- rejections to the soil of domestic wastes from cesspools, which percolate to the above aquifers and create harmful results ;

- leachages from sewerage networks that aren't water-right ;

- rejection of domestic or/and industrial waste to streams after a degree of treatment and diffusion of mixed liquor from the banks and the soil, to mineral and thermal ground water aquifers ;

- nitrate pollution from wastes produced at small cattle breeding units (sheep, pig-breeding, etc.) or even from agricultural industrial units (cheese-dairy, tannery, etc.) which are usually built in agricultural areas, where water exists ;

- agricultural wastes pollution from fertilizers residues, pesticides, insecticides washed from agricultural land (only 36 percent of the nitrogen applied by fertilizers, crop residues, manure, and other organic wastes, was recovered by crops) by rain water precipitation, to streams and percolation to ground waters ;

- inflow of sea water to the underground water's positions. This occurs when water reserves are decreasing due to the frequent pumping and the interface between fresh and sea water is moved towards the land (deepen of 1 m of fresh water, provoke the intrusion of almost 40 m of sea water to the land).

- the filtration of leachate produced from fermented solid wastes, when rain water percolates through them.

### **THE WAVE OF TOURISM AND HIS IMPACT TO THE AUGMENTATION OF POLLUTION LOADS**

Tourism had increased considerably in places where mineral and thermal waters have a tradition of good curative results and they are developed the necessary facilities.

Usually this abrupt increase, is realized to a small interval of time (a week or 10 days) producing to some places, almost a doubling of population and a severe augmentation of pollution loads.

The permanent population starts a painful work, for the service of Tourist population, arrived for curative purposes, to places with sources of thermal and mineral waters.

The increase of water consumption and consumption of goods followed by an augmentation of produced solid and liquid wastes, created the necessity to collect, treat and dispose them safely, in order to face the Environmental impacts (EI).

The examination to first approach of the E.I. to the neighbouring community, from the overall activity (gain and positive budget) are considered necessary.

At the end of the work we expose a case study for the development of Thermopylae source. Near this place Leonidas with 300 Greeks Spartiates faced Xerxes and the Persian army.

### **THE PROTECTION OF THERMAL AND MINERAL WATERS**

Our efforts must lead, to the decrease of transferred pollution to thermal and mineral water aquifers, in order to maintain their physicochemical and biological characteristics and in general their precious quality.

One of the more severe pollution is nitrate pollution when their concentration to ground waters exceeds the EEC limit, that is 50 mg/l (cyanosis disease, formation of nitrosamines, etc).

Esential is the application of clean technologies and new procedures for the minimization of pollution loads by intervention at source.

The recycling of raw materials, the economy in water consumption, the efforts for minimization of quantities of rejected wastes and the advanced treatment of wastes, to promote the water reuse, are positive measures, for protection of thermal and mineral waters.

### THE CREATION OF PROTECTION ZONES OF THERMAL AND MINERAL WATER SOURCES

The control of pollution to thermal and mineral water sources are faced, by the creation of protection zones.

We considered three areas of protection zones, surrounding the sources where different kind of protection measures, are imposed.

These zones are fig. 1.

#### Zone I : area of immediate protection

This include the nearest perimeter of the source intake place, which determines the immediate protection area, where any activity producing pollution is forbidden.

#### Zone II : near protection

This zone is found near the source intake and must secure measures for protection from bacteriological pollution. Also it must include protection from chemical pollution sources. Especially the pollution from excrements, with big concentrations of  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ .

The limits of this zone are fixed by the 50 day's line. This is determined by the property that, from every point of this perimetric line of the source, the water needs at least 50 days, to arrive at the source.

#### Zone III : longer protection

Investigations of 4500 cases for longer protection zones, to portected sources in Germany, resulted that distances 2-3 times greater, from that are necessary, for near protection zones. Moreover in many countries, the control of the upper limit is done to a distance of

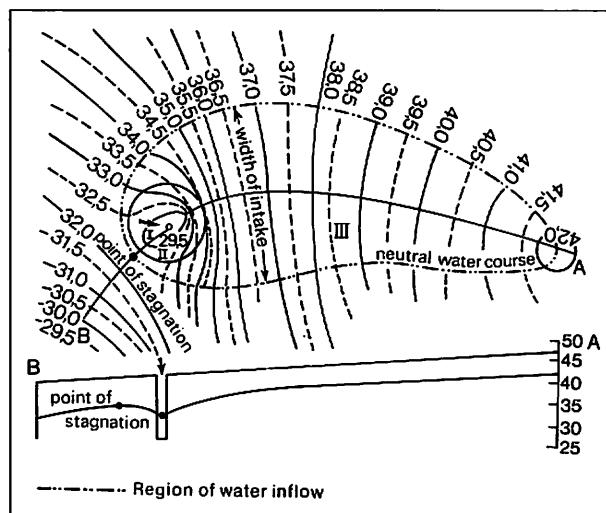


Fig. 1. – Presentation of protection zones of a water intake.  
Zone I : of immediate protection, zone II : of near protection, zone III : of longer protection.

2000 m, from the place of intake. The control of downstream limit is done until the point of stagnation. Also to the above investigations for the creation of the protection zones, the following are important :

- the ability of pollution assimilation from soils,
- the lowering of the ground water level,
- the boundary conditions,
- the ecologic value of the investigated areas,
- the economic parameters of sibstitution solution.

### ASPECTS FOR PROTECTION MEASURES OF THERMAL AND MINERAL WATER SOURCES

It is clear from the above paragraphs, that the underground aquifers of thermal and mineral waters are in danger to be polluted from human activities (permanent habitants, tourists, etc.) and protection measures are necessary.

Especially the tourist population produce an acute pollution load to sensible regions, with precious ground water aquifers, of thermal and mineral waters, that contribute to the entire development of these regions.

We can mention the following measures. The replacement of cesspools in the reported tourist regions, with sanitary sewerage systems (water proof connections for minimization of leakages).

The construction of sewage treatment plants, that are necessary after the creation of sewerage collection systems, with a secondary or tertiary treatment, where

impose this environmental conditions (high quality water to the treated effluent receiver, etc.).

Also the pollution from solid wastes leachate produced to landfill sites must be faced.

A clay liner of more than two feet or/and 30 mil HDPE liner, will be placed to the ground surface of the landfill before any solid waste disposal activity.

The monitoring of the upper limit of the protection zones, from chemical pollution, is possible by digging suitable sizes observations holes and take samples for laboratory analyses and investigations.

Essential is the good and correct construction of the water intake, which regulates the sanitary outflow for thermal and mineral water sources (suitable technique and good placed cover).

### A CASE STUDY – THE THERMOPYLAE SOURCES

As a case study were selected the development of Thermopylae sources and the region with necessary facilities, to offer services to tourists.

The sources springs to the feet of the north Kalidromo mountain. The shore width between the sources and the sea is 3 km. The sources are found to a level of 20 m and poured to a square basin of 40 m<sup>2</sup> (fig. 2). At east of sources passes Nerotruwia the biggest torrent of the region.

The Thermopylae sources were known from the antiquity and owed their name, to the thermal curative water which passed from the narrows.

#### Balneology

The thermal waters of Thermopylae have curative qualities for chronic diseases of the supporting and joining tissues, gynaecological inflammations, neurotic and chronic respiratory diseases.

#### Geology, hydrology, chemical and physical quality of sources water

In fig. 3 we see the geology in a cross section of Thermopylae sources. In the sources predominates fresh water, that percolates from permeable soils.

#### Chemical and physical properties of sources (fig. 4)

*Concentrations of ions owed to added sea waters, 14 Volum % Na<sup>+</sup> 2 000, Cl<sup>-</sup> 4 000, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 4 00, Br<sup>-</sup> 28, J<sup>-</sup>.*

*Concentrations owed to the mutual influence of constituents of water with limestone Ca<sup>++</sup> 500, Mg<sup>++</sup> 200, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 700.*

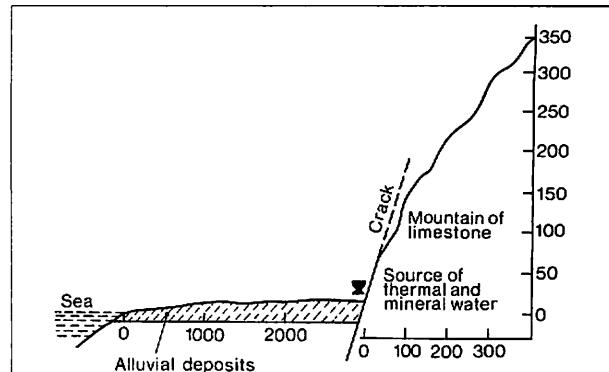


Fig. 2. – Distance from sea and sources outflow level above the sea at Thermopylae.

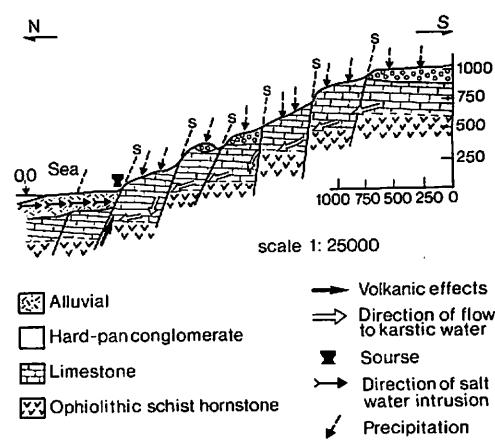


Fig. 3. – Geologic profil shape of Thermopylae region.

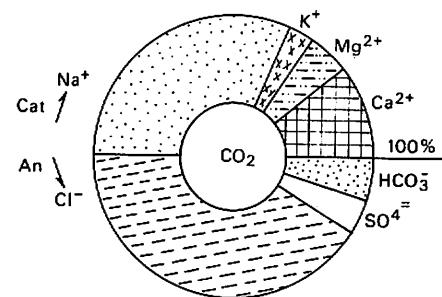


Fig. 4. – Chemical and physical properties of sources. Aspects : light muddy. Smell : hydrosulphate intensive. pH : 6,5.

#### Qualities of volcanic origin :

- Temp 41°C : CO<sub>2</sub> 1 100 mg, H<sub>2</sub>S 4 mg.
- Rn 0,6 ME : U O, 2 ppm.

#### Results of radioisotope measures :

- Concentrations : <sup>14</sup>C 9 + 1,1 %, <sup>13</sup>C - 1,4 %.
- Age <sup>14</sup>C : 19 400 ± 1 050 years towards.
- Tritium : 34,5 ± 0,9 TU.

## The development of Sources region

The intention is to develop the region of Community of Thermopylae which is found in a distance of 650 m from Leonida status. The sources are to the opposite direction in a distance of 650 m.

The following works are programmed to be constructed :

- a small museum with exhibits of Thermopylae battle,
- a theatre to open space with capacity for 300 spectators,
- a parking place,
- roads to connect the bathing place with theater and the museum as also the village,
- underground pedestrian passage and a small building, for the gardian of the installations.

All this activities aims to the increase of the tourist population to the region and this has his consequences to the increase of pollution loads. So there appears the necessity to take measures for the protection of thermal and mineral aquifers, which supply the Thermopylae sources.

We examine ground water movement. We put in a map the isopiezometric lines and stream line, towards the sources.

Then we design the protection Zones (Zone I : immediate protection, Zone II : near protection, Zone III : longer protection) and we investigate the property situation inside the zones and perhaps the necessity, to take measures, to third properties.

After that we study and propose the particular measures that will prevail, to each of the three protection zones.

## CONCLUSIONS

After the extended above, we conclude that the following measures are necessary to be taken, for the protection of thermal and mineral waters :

- control of the tourist population and the consequences of the produced pollution loads from their activities ;
- replacement of cesspools in regions where geologic composition of subsoil isn't suitable to neutralize the pollution loads, with a sewerage system and sewage treatment plant ;
- avoidance of exhausted pumping ;
- control of leachates from landfill sites after their collection and treatment, in order to minimize environmental impacts ;
- programmed use of compost quantities for agricultural purposes, to avoid ground waters nitrate increase.

Best management practices, as small and frequent irrigations, help to the minimization of nitrate losses and in the same time we have water savings and less expenditures for pumpings.

The extensive investigation and scientific study of all the relevant parameters and particularities of studying regions (archaeologie, etc.) and the application of suitable protection measures, will secure the protection of thermal and mineral waters, from tourist population activities.

I want also to thank you my coloborator Dr. Kollias for his precious contribution to the reduction of the present paper.



# L'ingénierie dans le thermalisme

J.C. CARRIÉ<sup>1</sup>

Avec la collaboration de M. BLANC<sup>2</sup>, A. HERMANN<sup>1</sup>, J.L. HONEGGER<sup>3</sup>,  
F. IUNDT<sup>3</sup>, M. PEPI<sup>4</sup>  
(Montpellier)

---

## RÉSUMÉ

---

La réglementation stricte de l'utilisation à des fins thérapeutiques de l'eau thermale, amène à considérer le thermalisme dans un cadre plus *industriel* qu'immobilier classique. Il en découle que la technique, obéissant elle-même à différents critères incontournables, prévaudra dans la conception d'un établissement thermal et sera la base du concept architectural. En conséquence, la réalisation du projet devrait être confiée à une *équipe pluridisciplinaire*, choisie par le maître d'ouvrage, plutôt que d'utiliser la voie classique du concours et, a fortiori, le système concepteur-réalisateur/entreprise générale. Ensuite, sont évoquées quelques notions techniques dont il devra être tenu compte dans la distribution de l'eau thermale, eu égard à ses caractéristiques physico-chimiques particulières.

**Mots clés :** Thermalisme - Ingénierie - Distribution de l'eau thermale.

---

*L'ingénierie* est l'ensemble des activités, essentiellement intellectuelles, ayant pour objet d'optimiser l'investissement quelle qu'en soit sa nature, dans son choix, ses processus techniques de réalisation et sa gestion.

---

## SUMMARY

---

**Engineering and thermalism.** – Spas should be considered as *industrial undertakings* than as classical property developments given the strict regulation governing the use of thermal spring water for therapeutic purposes. As the technical characteristics of a spa depend on a number of rigid predetermined conditions these must be fully taken into account in its conception and should also inspire the architecture. As a result project development should be given to a *multidisciplinary team*, chosen by a main contractor, rather than chosen by the more traditional architectural competition. Even more to the point it should not be given to a designer-builder/general contractor. Several ideas are developed dealing with the technical aspects of thermal water distribution given its specific physical and chemical characteristics.

**Key words :** Thermalism - Engineering - Spa water distribution.

---

## INGÉNIERIE ET CONCEPTION D'UN ÉTABLISSEMENT THERMAL

### Analyse de la situation

L'eau thermale est un fluide aux caractéristiques particulières, utilisé au sein d'un environnement spécifique (établissement thermal) qu'il engendre.

Le captage, le transport, l'utilisation, les traitements éventuels à y apporter, sont régis par des textes rigoureux (Loi de 1957 et décret de juin 1989). Le contexte défini par ce qui précède nous amène à considérer le thermalisme dans le cadre plus *industriel* qu'immobilier classique, fût-il celui des loisirs. Dans un programme immobilier, l'Architecte est maître d'œuvre (sur un programme défini par le maître d'ouvrage), alors qu'en matière de thermalisme, il y a lieu de don-

<sup>1</sup> Architecte - Ingénieur, Ecole Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines d'Alès (ENSTIMA). Cemer SA, Montpellier.

<sup>2</sup> Écoénergie SA.

<sup>3</sup> BRGM, Lyon.

<sup>4</sup> Gesther SA.

Tirés à part : J.C. Carrié, 260, avenue du Mas-Quarante, 34270 SAINT-CLÉMENT.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

ner la prépondérance à la technique qui s'assujettit elle-même aux critères suivants :

- ressource thermale,
- qualité et conservation des eaux thermales,
- définition des soins donnés par le corps médical,
- équipements spécifiques,
- fréquentation,
- hygiène et confort,
- qualité de l'air,
- environnement.

La technique découlant de ces critères sera la *base du concept architectural*. L'architecture thermale, quant à elle, devra permettre à l'établissement de s'intégrer dans un contexte urbanistique donné et de jouer son rôle dans l'économie locale et régionale.

L'implantation de l'établissement devra donc répondre aux critères d'attractivité de la zone choisie, pour que la perception du bâtiment soit le ou l'un des « phares » ou pôle de la région.

Le processus logique de réalisation d'un établissement thermal devra s'établir comme suit :

- définition du programme après avoir fait l'inventaire des ressources thermales et des besoins, ceci prenant en compte l'orientation de l'étude marketing,
- étude technico-économique,
- Avant Projet Sommaire (APS) : technique, architectural, etc.

Les directives techniques demeurent en tout état de cause, primordiales.

### Démarche proposée au maître d'ouvrage

Ces dispositions, à notre avis incontournables pour l'efficacité du résultat, nous paraissent faire rejeter le système concours, et *a fortiori* le système concepteur-réalisateur et entreprise générale, au profit de la constitution d'une *équipe pluridisciplinaire* agréée par le maître d'ouvrage, avec qui, il pourra dès l'origine examiner tous les points beaucoup plus en détail.

Au service du maître d'ouvrage, cette équipe intégrant aussi l'Architecte, pourra parfaitement définir les critères de choix des entreprises, lequel choix définitif appartiendra au maître d'ouvrage, es qualité.

## INGÉNIERIE DE LA DISTRIBUTION D'EAU

### Eau thermale

- Connaissance parfaite du gisement thermal : origine et transit des eaux, gîte proprement dit.
- Connaissance parfaite de la constitution physico-chimique de l'eau thermale et du gaz thermal.
- Maintien de l'équilibre physicochimique du fluide thermal.

### Matériaux

Choix des matériaux en fonction des caractères physico-chimiques du fluide véhiculé (entraînement, précipitations, corrosion).

#### Evolution des fluides entre la source et l'utilisation

- Evolution physicochimique générale.
- Evolution thermique-échange.

### Les matériaux

Un choix judicieux devra être effectué dans les matériaux destinés au :

- captage,
- pompage,
- stockage,
- réseau de distribution,
- instrumentation : centrale de mesures et d'acquisition et centrale de régulation.

### Conservation des qualités des fluides thermaux

#### Evolution liée au transport

Importance des paramètres des fluides dans le réseau :

- pression,
- température,
- débit,
- contact avec l'atmosphère,
- émanation.

Ces paramètres seront les critères du cahier des charges du réseau de distribution ; ils conduiront à la définition des moyens techniques à mettre en œuvre, ainsi que son exploitation.

#### Evolution provoquée

Cela concerne :

- traitement fer-manganèse,
- décantation (boues, silice,...),
- stockage,
- échanges thermiques provoqués : réduction des écarts thermiques entre fluides primaire et secondaire ; augmentation des surfaces d'échange et dispositions dans les circuits ; maintien de l'équilibre physico-chimique.

### Hygiène et qualité bactériologique

#### Eau

- Adaptation nécessaire des systèmes de disconnection aux réseaux d'eau thermale,

- Maintien du réseau en parfait état (il doit être exempt de toute corrosion, accumulation de dépôts, etc.),
- Conception des réseaux avec possibilité de désinfections périodiques.

#### Air

- Création de réseaux de distribution d'air spécifiques aux différents points d'utilisation (température, hygrométrie, pollution) et dimensionnement permettant l'élimination des zones statiques ; la réalisation devra être en matériaux non-absorbants,
- Elimination des zones à « point de rosée » par le contrôle simultané des paramètres suivants : température de l'air, hygrométrie absolue (maximum : 15 g), température de surface de vitrage et murs (isolation et/ou choix des matériaux).

Cette recherche de confort et d'hygiène peut conduire à des économies d'énergie importantes.

#### Électricité

Les distributions des courants forts et courants faibles seront assurées conformément aux normes en vigueur ; un soin particulier devra être apporté aux raccordements (postes de soins) et points d'éclairage dans les locaux humides.

#### Choix et mise en œuvre des équipements

- Optimisation de la qualité des matériaux en fonction de la nature du fluide.
- Réduction maximale de la diversité des matériaux utilisés.
- Connaissance et respect des règles d'installation et d'utilisation des matériaux anciens et nouveaux : règles simples d'installation (pente, purge, supportage...), règles spécifiques liées à l'utilisation de nouveaux matériaux nécessitant une haute qualification ou une formation complémentaire avec un outillage adéquat.

- Spécification des matériaux utilisés pour le stockage : qualité alimentaire (normes AFNOR, sans stabilisant au plomb), résistance aux agressions physico-chimiques et thermiques.

#### CONCLUSION

L'ingénierie générale pour un établissement thermal relève de la conception d'un ensemble complexe : médical-hydraulique-thermique et aéraulique, associé à la structure, ce qui entraîne de la part du maître d'ouvrage une distribution directe des responsabilités à une *équipe pluridisciplinaire*, sous l'autorité d'un chef de projet.



# Les réseaux martiens : exemple d'une exohydrologie

N.A. CABROL  
(Meudon)

## RÉSUMÉ

La planète Mars présente des formes d'érosion de surface qui peuvent être comparées à des écoulements de type fluviatile mais la pression atmosphérique de 6 millibars et la température moyenne annuelle de - 50°C y interdisent actuellement des écoulements de surface. Les analyses morphologiques ont montré que l'eau se trouve piégée dans le sous-sol, dans un englacement crustal qui peut atteindre plusieurs kilomètres d'épaisseur. Cette croûte glacée est héritée de la formation de la planète, par le passage de Mars dans la nébuleuse primitive et l'accrétion postérieure de corps glacés. C'est essentiellement l'aspect des réseaux en fonction des confluences d'un ensemble de chenaux qui confortent l'hypothèse fluviatile. Par contre, un cycle de l'eau entraînant une hydrologie organisée étant impossible actuellement sur Mars, il faut, soit que la planète ait connu des conditions atmosphériques et météorologiques très différentes, soit qu'une hydrologie particulière s'y soit développée. Par une analyse planimétrique comparée de réseaux terrestres et martiens, l'auteur met en évidence que les réseaux de Mars sont bien de type fluviatile mais, leur origine ne peut être météorologique. Les indices classificatoires de compacité et de drainage démontrent une organisation de soutirage de nappes souterraines de pergélisol déstructuré. Ces résultats comparés à l'histoire géologique de la planète, permettent d'établir un modèle évolutif montrant que les écoulements sont concentrés dans le temps autour de 3,5 milliards d'année, à la période de plus fort bombardement météoristique de la planète et de déstructuration

## SUMMARY

**Martian channels : a case for an exohydrology.** – The planet Mars displays morphological features which are compared to terrestrial fluvial forms. But, the planet atmospheric pressure of 6 millibars and its annual mean temperature of - 50°C avoid surface running flows. After the Viking I and II 1976 mission on Mars, the question of their origin remains still open. Actual studies demonstrate that the martian water is trapped underground, under permafrost form, generated by the planet position in the nebula and from accretion of iced bodies, such as ice-rich comets. These features called channels or channel networks are often compared, to terrestrial rivers. The fluvial hypothesis is based upon the comparison of network forms (convergent branches and sedimentary basins at the outlets). But, a water cycle and an organized hydrology are impossible on Mars today, implying very different atmospheric and meteorological conditions in the past, or specific hydrology. A planimetric analysis using the organisation of martian channel streams (identified as branches) allows to demonstrate that they are fluviatile but not of meteorological origin. The calculated density and drainage coefficients point out the similitude of these features with sapping processes generated flows. The martian thermodynamical conditions lead to considerate that the water could be issued from the destruction of the permafrost or by release of subsurface aquifers. These results correlated with the geological history of the planet allow to establish a model of evolution for the martian channels and for surface water on Mars : the channel networks are of maximum intensity at 3.5 billion years (b.y), period related to the heavy meteoritical bombardment which

Laboratoire de Physique du Système Solaire, Observatoire de Meudon,  
92195 MEUDON.

Tirés à part : N.A. Cabrol, adresse ci-dessus.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles,  
Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre  
1990.

de pergélisol. A cette période, un écoulement de surface est encore possible grâce à l'existence d'une atmosphère résiduelle que la planète ne conservera pas. A partir de 3 milliards d'années, le bombardement météoritique décroît significativement et l'atmosphère primitive a disparu, éliminant ainsi progressivement les facteurs de genèse des chenaux martiens. Enfin, la très faible pression atmosphérique résiduelle associée à un large déficit de l'oxygène bloqué dans des combinaisons hydroxymétalliques, permet de proposer une hypothèse concernant les possibilités d'évolution de la vie sur Mars. Si une vie primitive s'est développée, les formes bactériennes liées à un milieu réduit et sulfuré pourraient être largement privilégiées, d'autant qu'un volcanisme intensif s'est développé sur l'ensemble de la planète durant les deux premiers milliards d'années et qu'il a perduré plus localement jusqu'à 1 milliard d'années environ.

**Mots clés :** Chenaux - Réseaux - Aquifères - Pergélisol.

Plus éloignée de 50 millions de kilomètres du soleil que la Terre, la planète Mars reçoit à surface égale 2,3 fois moins d'énergie, c'est donc un monde plus froid (fig. 1).

Mars a un diamètre de 6 470 km (environ la moitié de la Terre), sa surface est caractérisée par une asymétrie prononcée entre les hémisphères Nord et Sud. Une large partie de l'hémisphère Sud est recouverte par un plateau densément cratérisé\* (1) à la suite d'un impactisme météoritique\* important datant de la période de formation, il y a 4,5 milliards d'années. L'hémisphère Nord est constitué de plaines de laves récentes, probablement d'origine volcanique et dont l'âge est estimé à 1 milliard d'années.

La planète Mars possède le volcanisme le plus important du Système solaire, avec des volcans disséminés sur l'ensemble de sa surface et dont les plus importants culminent à 27 km d'altitude (fig. 2).

Ces grands volcans sont localisés sur un bombardement dont la surrection\* a entraîné une gigantesque fracturation de la croûte et la formation d'un canyon\* (Valles Marineris) de 6 000 km de long, 150 km de large et localement 9 000 mètres de profondeur.

La géologie de Mars présente ainsi une première caractéristique qui est celle de l'échelle des phénomènes visibles. On retrouve sur cette planète des volcans, des effondrements, des vallées que l'on pense être d'origine fluviatile, mais l'échelle est pratiquement systématiquement dix fois ou cent fois supérieure.

Mars présente d'autres similitudes avec la Terre. La durée d'un jour martien dépasse de 40 minutes seulement la durée du jour terrestre, la planète est inclinée sur son orbite\* d'un angle de 24° environ comme celui de la Terre et qui entraîne également des changements

generated the maximum soil destabilization by production of high intensity marsquakes. According to the evolutive model of planetary atmospheres, it is assumed that the surface running flows were still possible in this period because of the presence of a residual atmosphere that Mars could not preserve in the later geological periods. After 3.5 b.y, the meteorite flux decreased and the residual atmosphere became to thin, avoiding progressively martian channel formation by sublimation of water. The low atmospherical pressure linked to a large oxygen shortage combined in hydroxymetallic material, allows to submit conceptual hypotheses regarding a possible past or present biological evolution on Mars taking into account that Mars undergoes a strong U.V radiations bombardment. The planet did not develop an ozone shield which could protect – as on Earth – life apparition. But, considering these specific conditions, bacteria associated to an oxyde reduced and sulfurous environment (multiform paleovolcanism) could be one way of evolution.

**Key Words :** Channels - Networks - Aquifers - Permafrost.

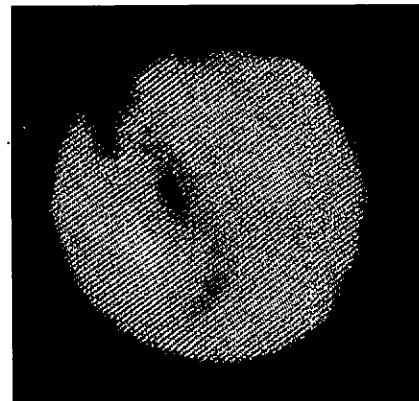


Fig. 1 A. – Mars, telle que Antoniadi put la découvrir au début du siècle à la Grande Lunette de Meudon. On distingue nettement la calotte polaire Sud (en haut du cliché), les différents contrastes de couleurs de la surface mais aussi, au centre, la légendaire Grande Syrté, étonnamment semblable au continent africain.

Photo « Groupe d'observation de Mars », Société Astronomique de France, Grande Lunette de Meudon le 21 septembre 1988, à 22 h 34.



Fig. 1 B. – Mars filmée au sol par les caméras de la sonde Viking 1 dans la région de Chryse Planitia. La ressemblance avec un désert terrestre est frappante. (Cliché NASA).

\* L'explication de chaque mot comportant un astérisque est donnée dans glossaire, en fin d'article.

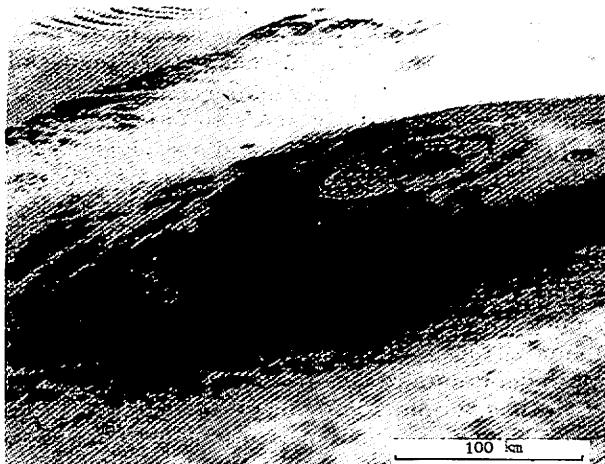


Fig. 2. – Olympus Mons, le plus grand volcan du Système Solaire avec ses 27 km d'altitude et ses 500 km de diamètre. Inactif depuis 500 millions d'années, il présente un profil de volcan bouclier de type hawaïen, avec probablement des laves très fluides dont on a retrouvé des traces à 300 km au-delà de la caldeira centrale. On note l'existence de multiples caldeira emboîtées dont la principale atteint 100 km de diamètre. Les formations blanches entourant le volcan sont des nuages de glace, le volcan étant si haut qu'il perturbe la faible atmosphère martienne. (Cliché NASA).

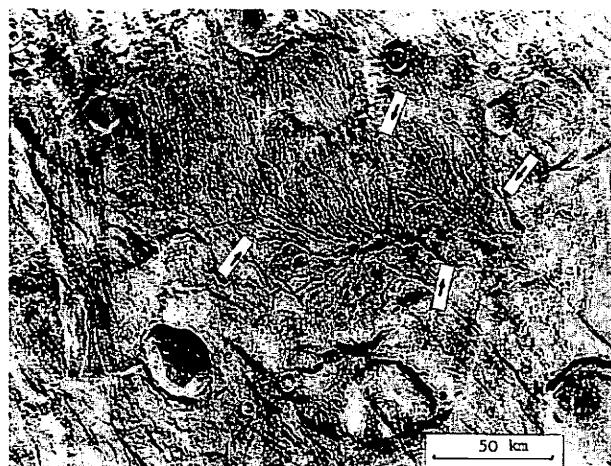


Fig. 3. – Exemple de réseaux de chenaux. Celui-ci présente une ramification développée. La branche centrale est indiquée par la flèche inférieure droite. Il se caractérise par une forte incision dans le plateau cratérisé et une largeur moyenne de 2 km. On observe que le réseau inférieur ne débouche pas dans la plaine (le contact est noté par les flèches sombres). (Cliché NASA).

de saisons, mais plus longues, puisqu'une année martienne dure à peu près deux années terrestres, Mars ayant une orbite plus excentrique \*. Enfin, la gravité \* est du tiers de celle de la Terre ( $373 \text{ cm/s}^2$  contre  $978 \text{ cm/s}^2$ ).

Aussi, il apparaît quelques points communs mais, l'éloignement du Soleil a été l'un des facteurs déterminants de l'évolution dans le temps de ces deux planètes. Les processus d'érosion sont soumis à des paramètres physiques différents (température, pression, gravité...) et, si les formes résultantes sont parfois apparemment comparables d'une planète à l'autre, il faut s'interroger pourtant pour savoir si les processus terrestres connus sont applicables sur Mars ou s'il s'agit de simples convergences de formes, issues de mécanismes totalement différents.

L'un des exemples les plus caractéristiques de cette difficulté d'interprétation est l'existence à la surface de Mars de formes d'incision ressemblant à des rivières asséchées dont la morphologie correspondrait au résultat d'une érosion fluviale sur Terre. (fig. 3).

L'étude suivante se propose de montrer, grâce à cet exemple, comment à partir de clichés obtenus depuis l'orbite martienne on tente de déterminer si des formes observées au sol sont conformes aux modèles terrestres. Dans le cas des rivières martiennes supposées, nous essayons de comprendre leur origine, de savoir si l'eau a pu être le facteur principal de genèse, dans quelle proportion, pendant combien de temps et quelle est la raison de sa disparition actuelle. Ainsi,

nous proposons l'étude d'une exohydrologie, c'est-à-dire d'une hydrologie particulière concernant – dans ce cas – une autre planète du système solaire.

## HISTORIQUE DES RECHERCHES SUR L'EAU

La recherche de l'eau sur Mars a mêlé étroitement la légende à la réalité pendant plus d'un demi-siècle. Jusqu'en 1877, Mars demeurait en effet une planète rouge-orangée dont la surface était recouverte de taches localement plus sombres. A cette époque, un astronome italien – Schiaparelli – utilisa pour la première fois le terme de « canale » pour décrire des lignes droites qu'il voyait lors de ses observations. Durant plusieurs années, il va répertorier ces « canaux » dont le nombre avoisinera 450 en 1880. A partir de cette date, des cartes apparaîtront, sur lesquelles on verra les canaux s'entrecroiser et converger vers les taches sombres de la planète que l'astronome assimilait à des oasis. Ainsi naît l'époque des « canalistes » qui connaîtra son apogée avec l'astronome américain Percival Lowell au tout début du vingtième siècle. Lowell a également observé les « canaux ». Convaincu de leur réalité, il construira un observatoire équipé d'une grande lunette pour pouvoir mieux les étudier. Il va plus loin que Schiaparelli dans son analyse. Des canaux aussi rectilignes ne peuvent être naturels. Par ailleurs, si on peut les observer depuis la Terre, c'est qu'ils ont au moins trente kilomètres de largeur.

Aussi, seule une civilisation technologiquement très avancée paraît capable de bâtir une telle infrastructure. L'idée d'une civilisation martienne prend alors corps. Lowell argumente sa thèse par les faits d'observations. Les canaux partent des calottes polaires pour converger vers les régions claires de Mars. De cette observation, il déduit que Mars est une planète en voie de désertification (sa couleur orangée) et que les martiens ont construit de gigantesques conduits pour amener l'eau des calottes polaires vers les déserts équatoriaux. Là où convergent les canaux, on voit apparaître des oasis qui abritent des villes... Toute sa vie, Lowell militera pour son idée, y engageant sa fortune et son temps. Mais, même durant l'apogée des « canalistes », d'autres observateurs contredisent l'hypothèse des canaux. L'un des plus célèbres est l'astronome Antoniadi. C'est à l'Observatoire de Meudon, à la Grande Lunette de 83 cm de diamètre (la plus grande d'Europe) qu'il confortera son idée que les canaux ne sont qu'une illusion, liée à des défauts d'optique et probablement à la fatigue visuelle qu'entraînent de nombreuses heures d'observations.

A la lunette de Meudon, Antoniadi ne verra jamais des « canaux » rectilignes mais simplement une succession de taches sombres. La recherche spatiale lui, donnera raison par la suite mais, il faut encore souligner que dans les années soixante-dix, au moment où les sondes spatiales Mariner s'envolaient vers Mars, il y avait encore des chercheurs pour adhérer aux idées de Lowell. En fait, le mythe né des canaux martiens a grandement contribué à fabriquer une image inconsciente de la planète Mars et qui a marqué l'orientation des programmes spatiaux. Quand Mariner 9 survole Mars en 1971, on espère trouver la vie.

Depuis janvier 1963, les mesures effectuées par l'astronome de Meudon, Audouin Dollfus, ont permis de déterminer la présence de l'eau dans l'atmosphère martienne. En réalité, l'eau contenue sous forme de vapeur est en faible quantité. Si elle condensait en pluie, elle formerait une pellicule d'à peine 0,045 mm à la surface alors que pour la Terre cette valeur atteint 20 cm. Mais l'eau est bien présente et, après l'exploration d'un monde anhydre \* et géologiquement mort qu'est la Lune, toute l'attention se porte sur Mariner 6 et 7 qui vont survoler Mars en juillet et août 1969. Enfin, au mois de novembre 1971, Mariner 9 placée en orbite autour de Mars va balayer plusieurs décennies de légende en quelques heures.

Après un mois de tempête de poussière, la surface de Mars se découvre en décembre 1971. Mariner 9 photographie les paysages martiens. Le verdict est là; il n'y a aucune trace de cités, pas de marque apparente de vie, seulement une surface criblée de cratères d'impact. Mais, les photographies vont rapidement découvrir un monde à la géologie diversifiée, alternant plaines et plateaux, volcans et fractures mais aussi des traces de ce qui apparaît comme d'anciennes rivières aujourd'hui asséchées. Les dimensions de ces formations ne correspondent pas avec les faibles quan-

tités d'eau découvertes dans l'atmosphère martienne, ni avec les paramètres physiques (température et pression) de l'atmosphère de la planète. Cela signifie-t-il que dans son histoire passée Mars a connu des conditions plus favorables à l'existence en surface de l'eau, ou bien présente-t-elle un type d'hydrologie spécifique ? Ce problème posé depuis 1971 a été soulevé à nouveau grâce aux photographies et aux mesures effectuées par les deux sondes Viking dont une partie s'est posée sur Mars en juillet 1976 pour Viking 1 et en septembre de la même année pour Viking 2. Les sondes restées en orbite ont donné des images atteignant parfois une résolution \* de 16 mètres au sol. Ainsi, depuis quinze ans, grâce à ces documents, on essaie de déterminer l'origine de ce que l'on nomme les « chenaux » martiens mais surtout de comprendre quel est l'agent morphogénétique \*, quelle a été sa durée d'action et pourquoi a-t-il disparu ?

L'hypothèse la plus développée est que les chenaux martiens ont été façonnés par une action fluviatile, donc par l'eau. Aussi, il faut analyser quelles purent être les conditions d'apparition de l'eau sur Mars au cours de sa formation mais également quelles sont ses conditions-limite de conservation et ses possibilités d'écoulement.

Enfin, il faut remarquer qu'après quinze années de recherche sur ces « chenaux », la légende fait en quelques sorte en clin d'œil à la réalité. Schiaparelli avait nommé "canali" des formations imaginaires que l'on avait traduit incorrectement par « canaux » mais qui en vérité ont plus particulièrement la signification de « bras de mer ». Aujourd'hui, on sait que les canaux n'existent pas mais on a découvert des chenaux que l'on suppose avoir été érodés par l'eau. Il y a même actuellement un modèle admettant par le passé l'existence d'un gigantesque océan, *Oceanus borealis*, occupant l'hémisphère Nord martien. Dans ce cas, les chenaux pourraient effectivement être considérés comme... des bras de mer.

## DIFFÉRENTS ASPECTS DE L'EAU SUR MARS

L'origine de l'eau comme agent de formation des chenaux et les différents modes d'écoulement qu'on lui associe sont encore controversés. Cette origine relèverait de deux catégories de processus, l'un endogène et l'autre exogène.

Les processus endogènes sont de deux types.

### Processus liés à une paléoatmosphère \*

Ils impliquent l'existence d'une paléoatmosphère archaïque pré-Noachienne \* ou Noachienne dense, permettant un cycle complet de l'eau à partir d'un immense océan (hypothèse de Baker, [4]) avec évaporation progressive de l'eau. Les variations climatiques

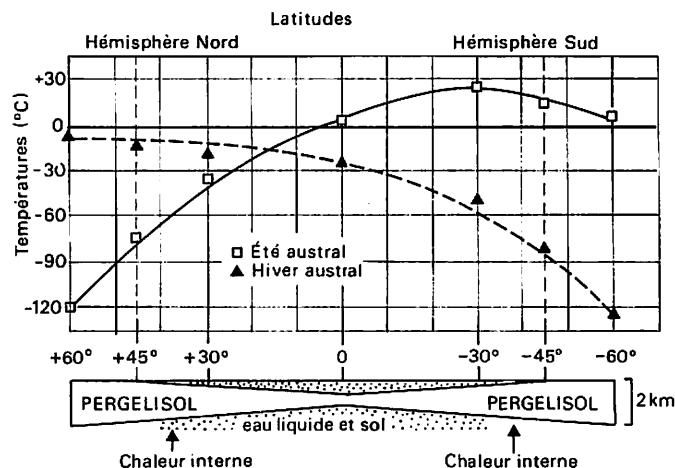


Fig. 4. – Variation de l'état de l'eau du sol en fonction des températures et de la latitude. Note : à  $-125^{\circ}\text{C}$ , le point de congélation du  $\text{CO}_2$  est atteint au pôle Sud en hiver.

sont accentuées par le bombardement météoritique. Ces événements externes redistribuent les chenaux par resurfacement \*. Il faut dans ce cas admettre une histoire géologique justificative et faire intervenir des cycles climatiques propices à la migration de l'eau de l'océan au sous-sol.

Selon cette hypothèse, les chenaux sont d'origine météorologique et, auraient été créées durant la phase océanique (entre 4 et 3,5 milliards d'années avant l'Actuel). Ils auraient disparu progressivement avec l'atmosphère. Le climat se refroidissant et la pression atmosphérique diminuant, l'eau a gelé dans les nappes ou s'est évaporée en surface.

Les derniers résultats de la sonde soviétique Phobos-Mars (1989) permettent d'établir un nouveau modèle pour cette paléooatmosphère, définie par le terme d'effet de serre \*.

Les observations astrophysiques du Deuterium montre qu'il y a eu six fois plus d'eau durant la phase post-accretionnelle \* de la planète que le résidu actuel [30]. Pour produire l'érosion observée du lit des rivières, il aurait fallu une quantité d'eau comprise entre 200 m et 500 m (environ  $0.7 \times 10^8 \text{ km}^3$ ) répandue à la surface de la planète. Le nombre de cratères d'impact relevés sur les fonds de vallées montrent que l'érosion s'est produite il y a environ 3,5 à 4 milliards d'années (Cabrol, [6, 7]) et qu'elle a cessé dans sa phase la plus active il y a 3 milliards d'années.

Aujourd'hui, il n'y a plus d'eau liquide à la surface de Mars du fait de la faible pression atmosphérique moyenne de 6 millibars \*, avec une température moyenne de  $-50^{\circ}\text{C}$ . L'eau a été photodissociée par la lumière à raison de 5/6 de son volume total. L'hydrogène (H) s'est échappé dans l'espace, ce qui se mesure actuellement par l'enrichissement en Deuterium (D) de l'atmosphère résiduelle.

Si on considère maintenant les calottes polaires, le volume de ces calottes correspondrait à un volume total d'eau qui, réparti sur la surface, se traduirait par une épaisseur de 10 m à 20 m. La différence entre ces deux hauteurs d'eau estimées (500 m et 20 m) serait localisée dans le sous-sol martien sous forme de pergelisol \* d'une épaisseur variant selon les latitudes entre 2 km et 7 km (fig. 4) ou de poches d'eau gelée (type méga-lentilles \* ou taliks \*) ou à l'état interstitiel ou encore en phase minéralogique hydratée (hydrolithosphère \*, hypothèse de Battistini [5]) comme en témoignent certains indices géomorphologiques \* (glissements de terrains, versants de vallées soliflués...).

Mais, les traces hydrogéologiques impliquent un climat plus clément que l'actuel. Ce climat correspondrait à une atmosphère de  $\text{CO}_2$ , avec une pression au sol d'environ 1 bar [33]. Le  $\text{CO}_2$  aurait créé un effet de serre qui aurait permis une élévation de la température moyenne au-dessus de  $0^{\circ}\text{C}$ . Ce système pression/température permet l'existence d'eau liquide.

La coexistence de  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  en abondance a entraîné – comme pour la Terre et Vénus – la dissolution de  $\text{CO}_2$ . Par retro-action, l'effet de serre a diminué. La température a ensuite baissé jusqu'à atteindre des valeurs négatives ( $-50^{\circ}\text{C}$  en moyenne actuellement) et la pression atmosphérique a atteint les valeurs mesurées par les sondes spatiales, comprises entre 2 et 10 millibars.

### Impactisme de météorites

Le second type de processus exogène apportant un enrichissement en eau est l'impactisme de météorites riches en composants hydratés. Ces impacts auraient

provoqué des bassins d'alimentation en eau. Ces météorites sont des corps kilométriques de grains agglomérés (silicates hydratés) composés avec des molécules H<sub>2</sub>O provenant du refroidissement de la nébuleuse primitive \*. L'accrétion \* rapide de ces corps libère l'eau sous forme de vapeur.

Les processus endogènes se présentent sous la forme de trois types différents définis par les études faites sur les chenaux depuis Mariner 9 :

#### Type fluviatile terrestre

Dans ce cas, la mise en place des chenaux avec creusement et élargissement ne pourrait être que le résultat d'une eau s'écoulant sur une topographie hypothétique. Ce faciès hydrogéologique \* de type fluviatile terrestre serait lié à un écoulement lent et régulier, bien qu'avec des fluctuations saisonnières, d'une eau courante. Cette thèse est défendue par les fluvialistes depuis 1973 [3, 10, 19, 20, 27, 31, 32, 35].

#### Type catastrophique

Ce type serait corrélatif d'une érosion rapide d'un large réseau de chenaux provoquée par des crues catastrophiques, ou par la fonte en surface de calottes de glace, libérant brusquement une grande quantité d'eau fortement chargée en sédiments (40 % à 70 % selon les études de Komar, [12, 13]).

#### Type soutirage

Cette troisième catégorie correspondrait à la liquéfaction instantanée d'un substrat \* gelé du mégarégo-lithe \* (Squyres, 1989, 1990) par réchauffement de la croûte \* sous l'effet d'éruptions volcaniques ou d'événements exogènes (impacts de grosses météorites, modifications de l'ensoleillement par les variations de l'excentricité \* et de l'inclinaison \* de la planète sur le plan de son orbite).

Ce type est également défini par l'exurgence \* de nappes souterraines à la suite de mouvements de terrains (séismes ou impactisme), (Cabrol et Grin, [8]).

Ainsi, au regard des différentes hypothèses, l'idée que l'eau a joué un rôle dans la formation des chenaux semble acquise mais, l'importance de ce rôle, l'origine des chenaux et la forme sous laquelle l'eau est intervenue restent encore à définir. Il n'y a actuellement pas encore de possibilité d'aller étudier ces vallées *in situ* et les documents fournis par les sondes spatiales Viking sont les seuls moyens d'analyse. C'est pourquoi, les planétologues sont contraints d'établir des modèles de fonctionnement des chenaux, en tenant compte de la faible pression atmosphérique, de la température négative mais aussi de la gravité plus faible que sur Terre.

En considérant les paramètres physiques, deux grands courants de pensées s'affrontent sur l'origine des chenaux. Le premier, regroupant les fluvialistes, soutient que le passé Mars a connu des conditions

de pression atmosphérique, de climat et de températures complètement différents de ceux qui existent actuellement et qui auraient permis, il y a 4 milliards d'années, d'avoir un cycle complet de l'eau (océan, évaporation, condensation, ruissellement/infiltation) et dont les traces de rivières asséchées seraient les témoins.

Le second considère que, même si Mars a connu au début de son histoire post-accrétionnelle des conditions différentes (pression atmosphérique voisine de 1 bar et réchauffement climatique suffisant pour atteindre le point de décongélation), la planète n'a cependant jamais pu maintenir suffisamment d'eau dans son atmosphère pour expliquer la formation de ces chenaux. Aujourd'hui, la quantité d'eau atmosphérique précipitable pour Mars est de l'ordre de quelques microgrammes.

L'argumentation des fluvialistes est issue de la comparaison des formes entre chenaux martiens et rivières terrestres, celle des non-fluvialistes est basée sur la planimétrie \*. Les arguments ne sont pas uniquement méthodologiques, ils concernent également l'évolution des paramètres physiques. On doit donc considérer les résultats des deux méthodes et analyser quels sont les plus cohérents. Dans cette recherche, la photographie spatiale est l'outil et la méthode celle de la télédétection \*.

### ANALYSE HYDROGÉOLOGIQUE PAR TÉLÉDÉTECTION

Les études de la surface martienne relèvent d'une méthode de télédétection sans l'apport d'une couverture photographique homogène, les documents ayant une résolution comprise entre 16 et 300 m par pixel \*. Les documents dérivés des photographies orbitales prises à 3 000 km d'altitude donnent une couverture complète de la planète à l'échelle du deux millionième et un essai d'interprétation géologique.

Cette documentation permet plusieurs types d'analyses :

#### Dénombrément statistique

Le recensement au 1/2 000 000<sup>e</sup> indique une population d'environ 2 200 chenaux répartis pour 87 p. cent à l'intérieur de réseaux dont les branches principales sont pour l'essentiel comprises entre 150 et 300 km de longueur. Leur largeur est comprise à 95 p. cent entre 1 et 2 km. La population restante se compose de chenaux beaucoup plus longs (1 % entre 800 km et 1 000 km) de 20 à 100 km de large, ayant peu ou pas d'affluents (fig. 5).

Leur profondeur varie entre 300 et 3 000 mètres localement. Cette profondeur est évaluée par l'ombre

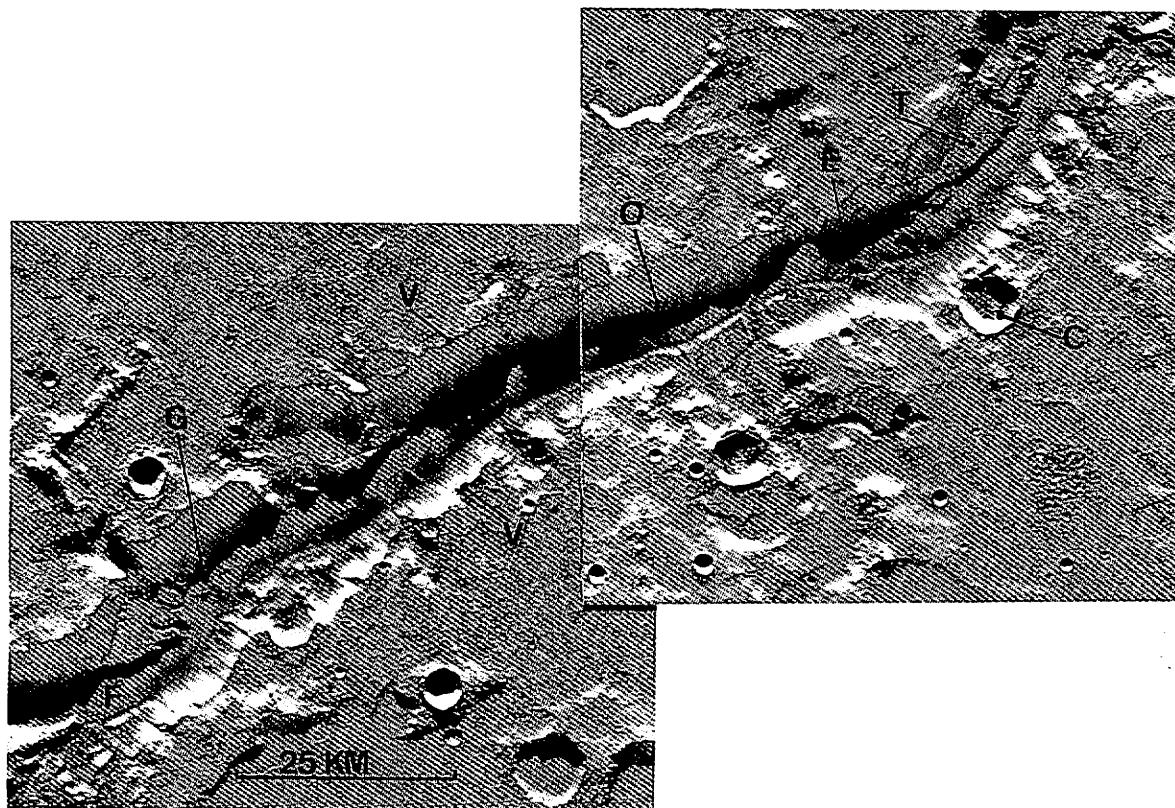


Fig. 5. – Section de Ma'adim Vallis. Située sur le plateau cratérisé, cette vallée se développe sur 1 000 km. Les fluvialistes proposent que son origine soit fluviale pourtant, aucune morphologie de fond ne semble l'indiquer. F : fond de vallée, d'aspect lisse et uniforme ; G : glissement de matériaux de versant ; V : versant, a priori fortement incisé ; O : ombre portée des versants qui permet de déduire le relief du haut de vallée ; E : ejecta d'un cratère d'impact ; T : terrasse incisée par des petits réseaux de drainage perpendiculaire au versant ; C : cratère d'impact. (Cliché NASA).

portée des versants, en supposant – ce qui est généralement le cas pour Mars – que le fond des vallées est plat.

Ainsi, on dégage deux populations statistiques très différentes dont l'évolution morphologique, morphométrique \* et temporelle est distincte. Cette statistique permet également d'obtenir l'image de la distribution spatiale de ces chenaux, regroupés pour la plupart dans l'hémisphère Sud martien, sur le terrain le plus ancien, le *plateau cratérisé*, alors que les plaines récentes sont globalement délaissées.

On peut également mettre en évidence l'évolution chronologique de ces écoulements supposés en déterminant la densité des cratères d'impact par unité de surface des terrains qu'ils recoupent ou par le degré d'érosion des cratères qui les recouvrent partiellement. Les résultats indiquent que la mise en place des chenaux s'est effectuée dans sa phase la plus active entre 4 et 3 milliards d'années avant l'Actuel [6, 7] pour disparaître ensuite très rapidement (on ne note que quelques exemples de chenaux – moins d'une centaine – à l'Amazonien, dans une période qui couvre 1 milliard d'années avant l'Actuel). Cette statistique met également en avant une nette corrélation entre la

courbe d'apparition des chenaux et l'évolution de l'impactisme, impactisme et séismes que nous lions aux processus de morphogénèse des chenaux [8] (fig. 6).

#### Morphologie comparative

L'analyse morphologique comparée est l'un des principaux arguments des fluvialistes. Les réseaux de chenaux présentent des branches qui convergent et qui sont assimilées à des confluences. Ces réseaux ont également des sinuosités (méandres) et des formes intra-vallées de type terrasses montrant une possible variation du débit du flot. Ils sont profondément encaissés (en moyenne 750 m à 1 000 m) et on suppose qu'ils s'écoulent de l'amont vers l'aval. Les fluvialistes mettent en avant la primauté de l'érosion fluviale sur l'activité tectonique créant des fractures qui auraient pu guider partiellement ou totalement les réseaux (fig. 7).

Les réseaux de chenaux seraient donc pour les fluvialistes des bassins-versants \* alimentés par des pluies il y a 4 milliards d'années. En considérant les paramètres physiques de Mars concernant la température,

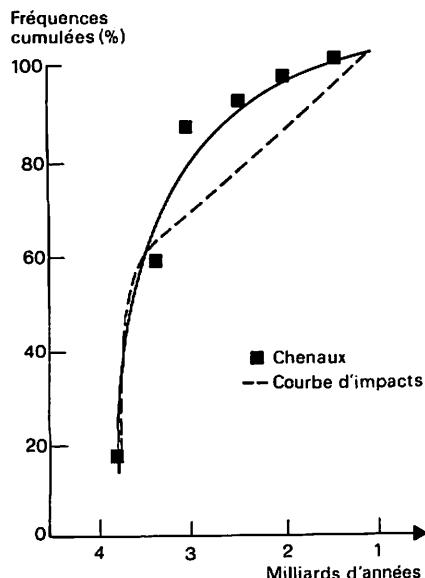


Fig. 6. – Evolution de l'impactisme et du drainage en fonction du temps.

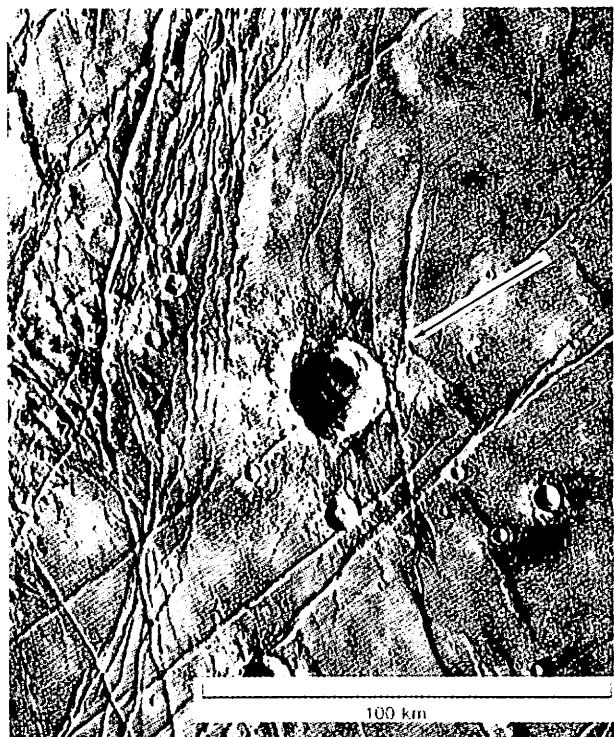


Fig. 7. – Formes d'extension dans la croûte qui se recoupent pour débiter le paysage et former de gigantesques labyrinthes. La flèche montre l'une de ces fractures recoupant l'éjecta d'un cratère indiquant la chronologie relative des événements. (Cliché NASA).

la pression et la gravité, on peut s'interroger sur la réalisation effective – même dans le passé – de tels écoulements, ayant une capacité érosive aussi importante (capacité d'excavation) d'autant qu'on ne retrouve que rarement des matériaux de dépôts à l'embouchure de ces chenaux et jamais en quantité suffisante pour expliquer l'excavation.

Or, il existe une méthode pour déterminer si un bassin est d'origine météorologique ou s'il s'agit d'un bassin de soutirage et qui est la planimétrie.

### Analyse planimétrique

L'objectif de l'analyse planimétrique est de vérifier si les réseaux martiens peuvent être considérés comme des constructions hydrologiques en les comparant à des bassins terrestres de référence, de même taille et de surfaces équivalentes. Les éléments comparatifs ne sont plus uniquement morphologiques mais ils considèrent la géométrie des bassins étudiés.

Le modèle que nous avons proposé [7] est donc établi à partir des mesures planimétriques (géométriques), tels que le périmètre, la surface, la longueur des drains \*, en considérant le réseau de chenaux comme un ensemble drainé entièrement à une période donnée. Il faut donc délimiter ce que nous définissons comme les « points-sources » et qui correspond à la terminaison amont visible des chenaux. Le bassin hypothétique est déterminé ensuite en tenant compte de la topographie locale. Une fois les limites du bassin définies, le périmètre est calculé, ainsi que l'ensemble des mesures dérivées.

Les deux indices principaux recherchés par l'analyse planimétrique sont les indices de drainage du bassin et l'indice de forme (coefficients de compacité,  $k_c$ ). La densité de drainage ( $K_d$ ) caractérise le réseau hydrographique alors que l'indice de compacité permet l'évaluation du réseau de drainage. Plus l'indice est faible, plus le temps d'écoulement est court entre les sources et l'exutoire.

Le coefficient de compacité est relativement constant pour les bassins terrestres (environ 1,3). Il est indépendant de la grandeur de la surface. Les valeurs des coefficients de drainage sont directement dépendantes de la nature géologique des bassins-versants. Pour Tardy [36], le coefficient de drainage sur Terre oscille entre 0,02 dans certaines régions calcaires et 300 dans les badlands \*.

Les résultats de notre analyse montrent que le coefficient de compacité sur les exemples martiens varie nettement (de 1,1 à 4) selon la surface alors que le coefficient de drainage ne connaît que des variations de faibles amplitudes allant de 0,03 à 0,1.

Les premiers résultats apportent des informations importantes d'abord sur la nature du substrat géologique puis sur la capacité et les conditions de drainage. Avec un coefficient de drainage compris entre 0,03 et 0,1, les bassins martiens paraissent évoluer sur une

unité géologique ayant une perméabilité peu variable à grande échelle (l'échantillonnage a été effectué entre 43° Lat. Sud et 19° Lat. Nord) qui correspond au plateau cratérisé. Ces valeurs indiquerait par ailleurs un sous-sol relativement poreux, ce qui n'est pas en contradiction avec sa nature géologique (brèches \* d'impacts).

Les fortes valeurs du coefficient de compacité indiquent que l'écoulement s'est probablement effectué de manière lente. Ainsi, dans notre modèle, les coefficients de compacité caractérisent deux propriétés hydrogéologiques et deux types de bassins martiens :

– les bassins de  $5 \pm 2.10^3 \text{ km}^2$ , qui correspondent à un coefficient de compacité élevé et à une faible densité de drainage :

– les bassins de  $30 \pm 5.10^3 \text{ km}^2$ , qui correspondent à un faible coefficient de compacité et à une faible densité de drainage.

Les réseaux de chenaux martiens sont de taille relativement faible (correspondant généralement à des sous-bassins terrestres) et mal drainés (peu d'affluents). Par ailleurs, selon la loi de Strahler, l'ordre \* d'un bassin est proportionnel à sa surface, ce qui n'est pas le cas sur Mars. Pour deux bassins de même ordre, la surface peut varier de 1 à 10.

Si on considère à présent la structure des bassins martiens et terrestres, on remarque que le rapport des affluents d'ordre 1 et 2 est régulièrement proche de 3 pour les bassins terrestres alors que ce rapport varie de 3 à 9 pour les exemples martiens. Cette observation indique pour la Terre un fort drainage au niveau des sous-bassins amont qui représentent 60 p. cent en moyenne de la structure totale.

Sur Mars, l'équipement en affluents d'ordre 1 varie entre 25 p. cent et 75 p. cent de la longueur totale du réseau. Mais, le rapport de l'ordre des affluents est beaucoup plus fort que pour les bassins terrestres. Ceci indique que si la longueur des affluents d'ordre 1 est plus variable en moyenne sur Mars, les réseaux sont cependant surtout structurés par des affluents de cet ordre :

– pour une surface équivalente, on observe qu'un affluent terrestre alimente en moyenne  $1000 \text{ km}^2$  alors que pour Mars cette valeur est de  $500 \text{ km}^2$  en moyenne.

– pour les réseaux martiens, on observe que les sous-bassins d'ordre 1 drainent une surface variant avec la surface du bassin. Pour les bassins de  $5 \pm 2.10^3 \text{ km}^2$ , les affluents d'ordre 1 drainent environ le dixième de la surface totale alors que pour les bassins de  $30 \pm 5.10^3 \text{ km}^2$ , la surface drainée est de l'ordre du vingtième (fig. 8).

Ainsi, lorsque la surface est multipliée par 6, le drainage des affluents d'ordre 1 est divisé par deux. Par ailleurs, plus le nombre de sources répertoriées augmente et moins l'ensemble des affluents d'ordre 1 drainent de surface. Aussi, l'intensité de drainage n'est pas

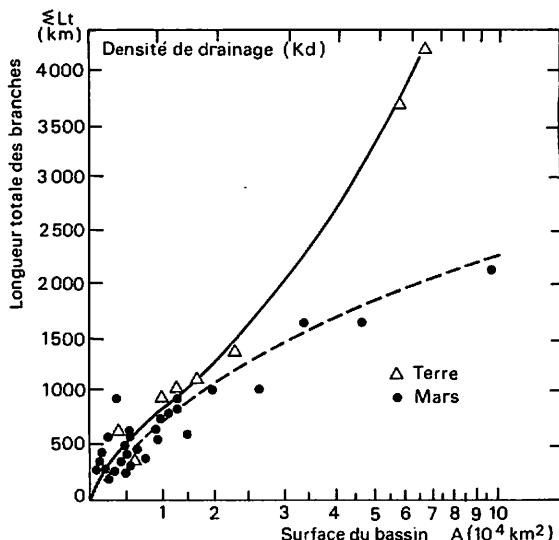


Fig. 8. – Equipement en longueur d'affluents pour la Terre et Mars en fonction de la surface du bassin.

en relation avec l'accroissement statistique de la surface d'un bassin martien.

Pour conclure, afin de vérifier l'hypothèse d'un sol poreux faiblement drainant, on compare les surfaces drainées aux surfaces régionales totales. Le premier résultat de cette modélisation est que la surface drainée varie dans de fortes proportions pour une même région. Le maximum relevé est de 17 p. cent pour la région de plus forte densité de chenaux. On observe seulement 117 bassins répartis sur une surface totale de  $15.16^6 \text{ km}^2$  avec une très forte dispersion de type aléatoire, ce qui est en contradiction avec une alimentation météorologique organisée. Malgré cette dispersion, les régions de plus forts pourcentages sont mitoyennes. Ainsi, on constate que sur l'ensemble du plateau cratérisé, des terrains faiblement drainants portent des bassins de petites dimensions dispersés de façon aléatoire. De ceci, nous déduisons que l'hypothèse météorologique ne peut être vérifiée pour au moins deux raisons :

– l'étude ne fait apparaître de régions climatiques riches en véritables concentrations de bassins,

– les bassins martiens ne montrent pas une physiographie de bassins collecteurs, donc ne peuvent être considérés comme des bassins-versants.

## L'HYPOTHÈSE DES BASSINS DE SOUTIRAGE

L'origine climatique ne se vérifiant pas, on analyse l'hypothèse du soutirage. Les chenaux sont alors considérés comme des écoulements provenant d'exurgences créées par des processus de soutirage \* de réservoirs d'eau souterraine.

## Différents types d'eaux disponibles

L'étude de la genèse des chenaux à partir du soutirage des nappes souterraines exige non seulement de définir les morphologies qui révèlent la localisation des réservoirs de pergélisol ou d'eau susceptibles de s'évacuer mais aussi, d'étudier la dynamique de vidange des réservoirs en fonction de leur type et de leur environnement géographique. Cette eau est contenue dans divers types de réservoirs caractérisés par leur substrat géologique et leur pouvoir de rétention.

Dans l'hypothèse de l'eau martienne, on peut considérer deux catégories d'eaux souterraines qui participent à divers degrés à la genèse des chenaux :

– les eaux fixées dans le mégargolithe se divisent en a) eaux occlusées dans les terrains primitifs, b) les eaux de constitution et de cristallisation des minéraux, c) les eaux d'hydratation des sols par apport atmosphérique.

– les eaux libres, qui ont une certaine mobilité souterraine, selon la nature du substratum \* ou l'état physique de l'eau.

Les eaux libres peuvent être divisées en quatre types élémentaires en fonction de leur processus de genèse :

– Les eaux de percolation qui proviennent du ruisseau superficiel et de l'infiltration dans des sols déstructurés par l'action tectonique (impacts et volcanisme). Ces eaux diffusent en fonction du degré de porosité pour créer ensuite la future zone de rétention. Cette eau initiale a constitué le pergélisol riche en eau par abaissement de la température de la croûte au cours de l'histoire de la planète.

– Les eaux de condensation se divisent en deux catégories : les eaux d'infiltration par pression des lacs ou mers qui pénètrent par pression hydrostatique \* dans le régolithe et qui formeront après disparition de la surface liquide des dépressions contenant l'eau et par la suite la glace puis, les eaux pénétrant sous forme de glace qui proviennent de couches superficielles, tels que les glaciers.

– Les glaces provenant d'une accréition météoritique et qui forment des poches localisées riches en éléments volatils.

– Les eaux fossiles de profondeur qui stagnent ou circulent librement dans les fractures.

Ces processus entraînent deux types de réservoirs souterrains. Les uns sont constitués par des sols de rétention à divers degrés de porosité, les autres sont des réservoirs dans des sols fissurés formant des nappes localisées communicantes. Les premiers obéissent à des rabattements du niveau piézométrique \*, les seconds à des soutirages à grande échelle de circuits souterrains.

## Organisation des bassins

Il faut remarquer la différence fondamentale d'organisation d'un réseau alimenté par un bassin-versant

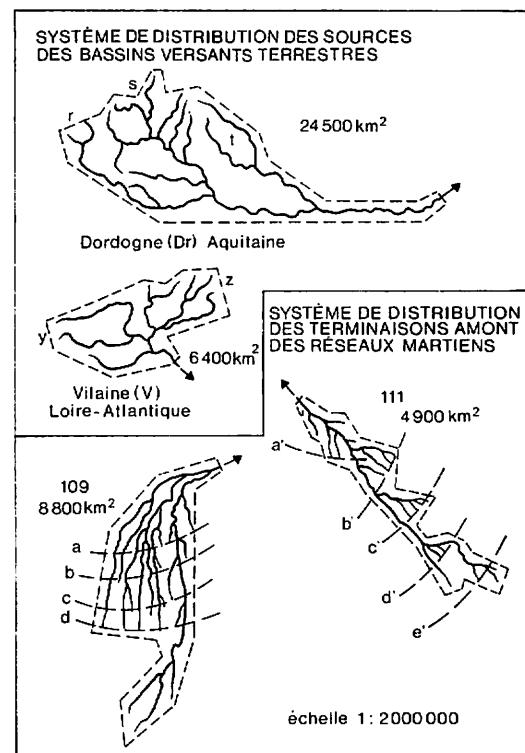


Fig. 9. – Comparaison de l'organisation des bassins terrestres et martiens.

avec un réseau de drainage. Le premier s'organise à partir d'un réceptacle, concentre les eaux en un exutoire, évacue les apports dans un chenal et les déverse à l'aval.

Le second s'organise depuis l'aval à la faveur d'un niveau inférieur de l'exurgence par rapport à la surface de rabattement de la nappe. Puis, il remonte à l'amont en s'élargissant, progressant par ramifications jusqu'à un horizon souterrain d'équilibre qui est celui du toit de la nappe. Finalement, il constitue un système de pseudo-affluents tronqués, disposés en arc-de-cercle par rapport à la confluence la plus proche. Sur la figure 9, des réseaux terrestres et martiens sont schématisés à la même échelle.

Les réseaux terrestres correspondent à des systèmes de bassins-versants qui ont servi de référence à l'étude planimétrique. On remarque pour la Dordogne, trois sous-bassins (r, s et t) bien individualisés. Ces sous-systèmes prennent naissance dans un même secteur d'alimentation. Au contraire, dans le système de la Vilaine, les sous-systèmes y et z sont divergents. Il n'est pas observé de régularité apparente d'organisation entre les sous-systèmes (r, s et t) et (y et z). Leur organisation est soumise à la topographie et aux régimes d'alimentation.

En revanche, les réseaux martiens (n° 109 et 111) montrent des distributions en arc-de-cercle (a', b', c', d' et e') correspondant à des configurations de résur-

gences \*, avec une constante des angles de jonction (angles aigus) et une étroitesse des systèmes « d'affluents ». Cette disposition échelonnée des sous-systèmes est généralement corrélative d'une progression d'aval en amont plutôt que d'un étalement en superficie. Elle correspond également à une recherche d'équilibre dynamique entre le niveau supérieur de rabattement de la nappe et le point le plus bas de vidange.

Les pseudo-affluents observés sont alors définis comme des branches-pirate correspondant à des reprises de vidange récupérant un tracé pré-existant. Dans ce cas, les confluences ne s'effectuent pas obligatoirement au même niveau et il est de fait commun d'observer sur Mars des marches importantes entre une vallée principale et ses affluents, qui sont considérés par les fluvialistes comme des vallons perchés.

### Processus de mise en décharge des nappes

Notre hypothèse est donc que l'origine de l'eau qui s'est écoulée dans les chenaux martiens, n'est pas météorologique mais de constitution. C'est à l'intérieur du mégarégolithe que cette eau est piégée. Or, pour obtenir un écoulement, il faut un – ou une série – de processus qui amènent la libération des nappes captives.

Pour que l'eau s'écoule hors d'un réservoir, il faut un orifice inférieur au toit de la nappe et il faut que ce niveau soit libre et aéré. Il n'en va pas de même pour une eau souterraine stockée dans un sol poreux, qui s'écoule selon le profil d'un rabattement de nappe par une exurgence localisée au-dessous du niveau piézométrique [12].

Or, sur Mars, il y a eu au moins deux facteurs principaux qui ont pu enclencher les processus de vidange, tous deux situés chronologiquement tôt dans l'histoire de la planète (4 à 3 milliards d'années avant l'Actuel) : le premier est l'impactisme (fig. 10).

Dans ce cas, nous envisageons l'impactisme post-accretionnel, lorsque la croûte de la planète était suffisamment refroidie. La chute d'une météorite provoque une onde de choc dans la croûte supérieure cassante (degré de viscosité d'environ 3 000 raleigh, ce qui correspond à la viscosité d'une vitre à environ -20°C [23], qui déclenche des ondes transversales de direction radiale (en étoile) de fracturation. Ensuite, il se produit une onde détente \* hémisphérique, concentrique au cratère en formation. A l'emplacement de l'impact, la croûte est comprimée jusqu'à 100 gigapascals \* et l'énergie engendrée est suffisante pour fondre et vaporiser la météorite et la surface du sol.

L'eau sous-jacente (hors de la zone de vaporisation) moins dense que le régolithe monte vers la surface aux points de plus faible résistance, créant un cône de déblais par poussée ascendante et peut jaillir sous forme de geysers. En présence d'une fracture, l'exur-

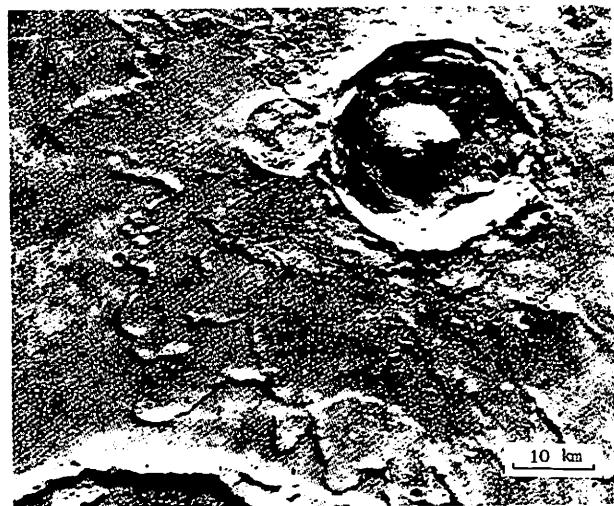


Fig. 10. – Cratère Yuti. Ce cratère et son ejecta en pétales sont représentatifs de ce que l'on observe sur Mars. L'impact se produit dans un sol riche en volatils et forme un ejecta boueux autour du cratère. On remarque l'importante érosion des remparts du cratère et le piton central. (Cliché NASA).

gence devient possible et se fait à l'intérieur de la fracture au point le plus bas. L'importance et la durée de l'écoulement sont ensuite fonction de plusieurs paramètres : dimensions de la nappe, niveau de rabattement (la vidange totale n'est pas obligatoire), température de surface et pression atmosphérique.

Les conditions d'écoulement étaient probablement plus favorables dans le premier milliard d'années de l'histoire de la planète Mars, l'atmosphère s'étant dissipée rapidement par la suite. Par ailleurs, après le premier milliard d'années, le principal facteur de mise en décharge des nappes – à savoir l'impactisme – décroît de façon significative également (voir fig. 6) et on observe une disparition corrélative des traces de chenaux.

– Le second processus de mise en décharge est un autre type de séisme, d'origine volcanique.

Le volcanisme martien a été actif généralement entre 4 et 3 milliards d'années mais son activité s'est poursuivie localement jusqu'à vers 500 millions d'années avant l'Actuel.

Cette séismicité a probablement contribué à la décharge des nappes qui ont été évacuées par les fractures pré-existantes. Mais, on peut aussi envisager un second élément qui a sans doute eu une action plus ponctuelle dans le temps.

Au cours de son histoire, la planète Mars s'est progressivement refroidie jusqu'à atteindre la température actuelle. Aussi, l'eau contenue dans le sous-sol a-t-elle gelé pour former un pergélisol riche en eau \*. Sous cette forme, l'eau captive en sous-sol ne s'écoule

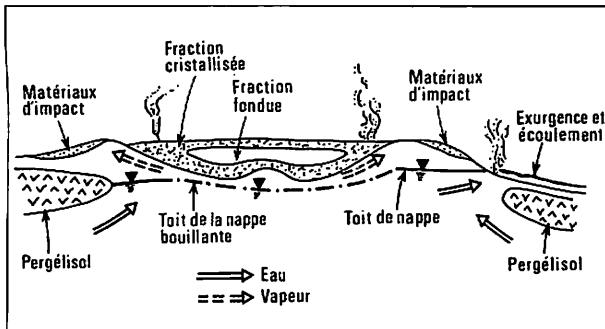


Fig. 11. – Modèle d'hydrothermalisme martien associé à l'impactisme. Figure reprise et modifiée de Brackenbridge et al. (1985).

pas. Dans cette perspective, une activité magmatique a pu contribuer – par transmission de chaleur – à fondre partiellement la glace du sous-sol et à la maintenir temporairement en phase liquide. Malgré tout, son écoulement en surface est devenue plus aléatoire dans l'histoire géologique, du fait de la température basse et de la pression atmosphérique.

### L'hydrothermalisme fut-il possible sur Mars il y a 4 milliards d'années ?

L'existence d'eau profonde et d'impacts – également de volcanisme – sur Mars a entraîné l'hypothèse que l'hydrothermalisme avait pu jouer un rôle au début de l'histoire de la planète. Newsom [30] décrit un modèle d'hydrothermalisme largement développé, lié à l'impactisme. Les météorites entrant en collision avec les terrains riches en eau sont pulvérisées, une partie de la matière est fondu avec les particules du terrain. Dans le même temps, une fraction de l'eau souterraine est vaporisée. La part non vaporisée – en phase liquide ou solide – est mise rapidement au contact de la strate des produits d'impacts encore à haute température par l'intermédiaire des fractures.

Newsom dégage trois phases principales dans son modèle, résumées par la figure 11 :

– après l'impact, une strate de matériaux fondues se constitue. Cette zone est parcourue par la vapeur d'eau remontant le long des fractures. On y observe également de la condensation ;

– une nappe d'eau chaude à la limite de la vaporisation se forme au contact de la couche de matériaux fondues ;

– on suppose ensuite un écoulement provenant de la zone de rétention d'eau entourant le cratère pour compenser le volume d'eau qui s'est échappé sous forme de vapeur.

L'hypothèse de l'hydrothermalisme expliquerait de manière satisfaisante le rapport élevé sulfate/chlorure décelé par les sondes spatiales Viking [30]. La statis-

que sur les impacts indique que les matériaux de fonte produits par l'impactisme atteindraient une épaisseur de 60 mètres.

Pollack et Black (1979) estiment que le volume total d'eau dégazée pourrait se traduire par une couche de 80 à 160 m d'épaisseur. Si la plus grande partie de cette eau est restée piégée dans le régolithe, alors l'hypothèse de l'hydrothermalisme peut se vérifier et il paraît possible que des sources thermales soient apparues sur Mars il y a 4 milliards d'années.

### LA VIE SUR MARS ?

Les rythmes saisonniers martiens décelables grâce aux instruments d'observation, l'apparence ressemblante de cette planète avec la Terre et l'existence supposée de l'eau avaient au cours du siècle dernier entraîné la ferme conviction que la vie était également présente sur Mars. Or, depuis les expériences effectuées par les sondes Viking en 1976, on doute de l'y trouver.

La vie existe-t-elle sur Mars ? A-t-elle jamais existé ? Mais surtout, quel raisonnement tenir vis-à-vis d'une autre planète ? La vie martienne pourrait-elle être absolument différente de celle que nous connaissons ?

Ce dernier point étant délicat à aborder, nous prendrons les paramètres terrestres que nous connaissons et nous analyserons leur aptitude à résister au milieu martien. En fait, nous envisagerons quels types de vie terrestre pourrait se développer sur Mars...

Louchet [16] développe quelques uns de ces paramètres et tire les enseignements des résultats des sondes Viking.

La quasi absence d'oxygène (0,13 % de l'atmosphère) ne permet que la croissance d'organismes anaérobies, les radiations UV qui atteignent Mars (entre 2 000 et 3 000 angströms) sont mortelles et l'amplitude thermique \* ne permet qu'une croissance saisonnière de 7 heures par jour à l'équateur.

La combinaison basse température/basse pression ne permet d'envisager l'eau que dans des sites spécifiques et rares et en faible quantité. Louchet ajoute que l'azote et le phosphore qui sont indispensables à la vie terrestre ne sont pas encore identifiés, ou en quantité réduite.

Les conditions particulièrement sévères du monde martien amènent les exobiologistes à envisager deux types d'études : la sélection d'espèces terrestres susceptibles de résister ou la création d'espèces nouvelles. Les tests effectués ont porté sur trois domaines : le monde végétal, celui des insectes et celui des bactéries. Dans les expérimentations faites, le milieu martien a été recréé. Dans les milieux les plus hostiles, les végétaux évolués sont éliminés alors que les micro-organismes rudimentaires résistent.

Le froid est l'élément le plus nocif pour les insectes alors que, d'ores et déjà, les analyses montrent que de

nombreuses bactéries terrestres pourraient vivre sur Mars [16].

Apparemment, Mars est donc impropre au développement des espèces supérieures terrestres mais, quelques possibilités existent au niveau bactérien dans les conditions martiennes actuelles. Ces conditions n'ont pas toujours été identiques et Mars fut sans doute plus riche en eau par le passé et plus clément au niveau climatique. Ceci ouvre une autre perspective qui est celle de la vie dans le passé. Si nous ne la décevons pas actuellement – encore ceci reste-t-il à confirmer avec des expériences nouvelles – cela signifie-t-il qu'elle n'a jamais existé ?

Pour de nombreux chercheurs et exobiologistes, il y a des paramètres favorables à l'apparition de la vie sur Mars par le passé, notamment l'atmosphère, la température et l'eau. En fait, la théorie sur l'origine de la vie sur Mars est basée sur le fait que les conditions terrestres et martiennes étaient probablement très proches il y a 4 milliards d'années.

On trouve sur Terre des preuves irréfutables d'une vie bien développée il y a 3,5 milliards d'années, sous forme d'algues fossiles ou de stromatolites. Shopf et Paker [36] ont suggéré qu'une photosynthèse par les cyanobactéries pouvait exister à cette époque. Mais, l'origine de la vie est peut-être encore antérieure à cette époque et, ceci est d'autant plus intéressant pour Mars que, plus on remonte tôt et plus – selon les modèles actuels – les conditions de développement auraient été favorables.

On détermine ainsi une période d'intérêt majeur [27] entre 4,5 et 3,5 milliards d'années, durant laquelle la vie a atteint un certain degré de sophistication sur la Terre et durant laquelle les conditions martiennes étaient les meilleures.

#### Comparaison avec les conditions d'apparition sur la Terre

Mc Kay [24, 25, 26, 27] considère un possible développement parallèle d'une vie bactérienne sur la Terre et sur Mars pendant un milliard d'années, les deux planètes divergeant ensuite dans leur évolution. A cette époque, la vie a explosé sur Terre alors que probablement elle stagne, régresse ou disparaît totalement sur Mars.

Quels pourraient être les points privilégiés d'apparition de la vie ?

Mc Kay [27] propose que la région des grands volcans et les vallées associées soient considérées comme des sites privilégiés. Le plancher de nombreuses vallées présentent des dépôts horizontaux sur des dizaines de kilomètres. Une des explications possibles à ces dépôts serait l'existence par le passé de zones lacustres [17, 18, 22, 29]. Mc Kay et Nedell [26] suggèrent que la majeure partie des sédiments pourraient être du matériel carbonaté de précipitation à l'intérieur d'eaux stagnantes. Par ailleurs, la zone des grands volcans est un site privilégié du volcanisme, et où a pu se développer un hydrothermalisme à grande échelle.

L'association de sources chaudes, de failles et de lacs donnent des conditions favorables à l'apparition de la vie. Les bactéries peuvent s'adapter à des hautes températures et c'est cette hypothèse qui est généralement privilégiée pour Mars.

Le développement de cette vie hypothétique est cependant subordonnée à la durée de l'activité volcanique, des chambres magmatiques et à la durée des écoulements.

De récentes études montrent que le volcanisme dans Valles Marineris pourrait avoir encore fonctionné il y a 500 millions d'années (Lucchitta, 1987).

La vie a-t-elle pu survivre de nos jours ?

Si on considère les modèles précédents comme possibles, la question demeure de savoir si cette vie a pu parvenir jusqu'à aujourd'hui. Pour cela, il faut répondre à d'autres interrogations [27] :

– jusqu'à quel point des organismes peuvent s'adapter à de longues périodes sans eau ?

– Quelle a été l'évolution réelle du climat martien jusqu'à nos jours ?

– Des niches favorables à l'éclosion de la vie sont-elles apparues ? Cette vie s'y est-elle développée en évoluant ?

Beaucoup de points restent encore subordonnés à des analyses *in situ* grâce auxquelles nous pourrons vérifier efficacement les hypothèses fluviatiles, thermiques et lacustres. Mais, tous ces modèles indiquent tout de même que Mars se situe dans une marge où l'éclosion d'un certain type de vie ne peut être – et de loin – exclue.

## GLOSSAIRE

- Accrétion** : formation d'une planète par agglomération de particules de matière variant de quelques millimètres à plusieurs kilomètres.
- Agent morphogénétique** : phénomène naturel intervenant dans le façonnement des reliefs (eau, vents...).
- Amplitude thermique** : écart entre les températures minimales et maximales. Sur Mars, l'amplitude est de 152°C.
- Anhydre** : sans eau.
- Badland** : terres argileuses disséquées par le ruissellement torrentiel en de multiples ravins qui ne laissent entre eux que des crêtes aiguës.
- Bassin-versant** : région drainée par une rivière et ses affluents.
- Brèches** : conglomérat formés d'éléments anguleux (sur Mars liés à l'impactisme) et soudés par un ciment provenant de la vitrification des déblais de l'impact.
- Canyon** : vallée en gorge, avec des versants verticaux et parfois en surplomb.
- Cratère, cratérisé** : excavation formée par la collision d'une météorite à la surface de la planète.
- Croûte** : terme désignant la couche supérieure du régolithe(\*) .
- Drain** : chenal unitaire dans un réseau.
- Effet de serre** : effet d'enveloppe thermique autour d'une planète par l'enrichissement de son atmosphère en gaz (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O...) qui maintient la chaleur irradiante de la planète.
- Exurgence** : point de sortie d'une eau souterraine.
- Faciès hydromorphologique** : relief façonné par l'eau.
- Gigapascal** : 1 Pascal = 10<sup>-5</sup> bar ; giga = 1 milliard.
- Gravité** : force qui s'exerce entre les corps.
- Géomorphologie** : science qui décrit les formes du relief terrestre et qui en retrouve l'évolution.
- Hydrolithosphère** : partie de la croûte martienne contenant de l'eau sous forme liquide ou solide.
- Impactisme météoritique** : collision de météorites avec une surface planétaire.
- Lentille** : élément de glace pure ayant quelques centimètres à plusieurs mètres de long, inclus dans le sol.
- Mégarégolithe** : enveloppe rigide épaisse de 3 à 15 km de la planète Mars.
- Millibar** : unité de pression. La pression atmosphérique terrestre moyenne est de 1 013 millibars (mb), soit environ 1 kg par cm<sup>2</sup>. 1mb = 1g/cm<sup>2</sup>.
- Morphométrie** : les éléments mesurables d'un relief.
- Nébuleuse primitive** : nuage gazeux interstellaire dans lequel s'est formé le Système Solaire.
- Niveau piézométrique** : surface d'équilibre d'une nappe souterraine.
- Noachien** : période géologique martienne située entre 4,2 et 3,5 milliards d'années avant l'Actuel.
- Onde de détente** : mouvement de la masse (ici du régolithe \* martien) qui correspond à la phase de décompression de la zone d'impact.
- Orbite** : trajectoire d'un astre par rapport à un autre, dans ce cas, de Mars par rapport au Soleil.
- Orbite excentrique** : par opposition à une orbite circulaire. Une orbite excentrique entraîne une planète à des distances minima (périhélie) et maxima (aphélie) du Soleil très variables. Pour Mars, cette variation est de 204 millions de kilomètres.
- Ordre** : hiérarchisation d'un réseau d'affluents.
- Paléatmosphère** : atmosphère primitive.
- Pergélisol** : sol gelé permanent.
- Photodissociation** : décomposition d'une molécule sous l'effet de l'énergie solaire.
- Pixel** : parcelle unitaire d'une image qui donne la résolution(\*) .
- Planimétrie** : analyse des paramètres mesurables, dans ce cas, d'un bassin-versant : surface, périmètre, longueur, largeur, profondeur, ordre...
- Pression hydrostatique** : pression d'équilibre des liquides.
- Régolithe** : couche superficielle de 1 à 3 km, d'épaisseur de la planète Mars et constituée de débris d'impacts, dans laquelle se situerait le pergélisol(\*) .
- Résolution** : surface visible par pixel(\*) sur une image. Une résolution de 16 mètres indique que le pixel peut donner des détails au sol dont la taille est de 16 mètres.
- Resurfacement** : terrain recouvert par des dépôts plus récents : un exemple est celui de l'ancien terrain cratérisé martien datant de 4,2 milliards d'années, recouvert par des coulées de lave datant de 3,5 milliards d'années.
- Résurgence** : réapparition de l'eau à l'air libre sous forme de source, d'une nappe souterraine.
- Soliflué, solifluxion** : déplacement en masse du sol superficiel gorgé d'eau sous l'action du dégel.
- Soutirage** : dans ce cas, d'une nappe d'eau souterraine. Evacuation de l'eau par une exurgence située en un point bas d'une nappe.
- Substrat** : géologiquement, terrain resté en place sous une nappe de charriage.
- Surrection** : soulèvement localisé à la surface d'une planète, de 1 km à 10 km d'épaisseur.
- Talik** : poche de glace ou d'eau incluse dans le sol.
- Télédétection** : terme générique pour désigner une étude faite à partir de satellites, plus communément utilisé pour l'imagerie spatiale obtenue depuis l'orbite d'une planète.

## RÉFÉRENCES

1. Allen C. – Volcano-ice interactions on Mars. *J. Geophysical Res.*, 1979, 84, 8048-8059.
2. Anders E., Owen T. – Mars and Earth : origin and abundance of volatiles. *Science*, 1977, 198, 453-465.
3. Baker V. et coll. – Morphometry of streamlined forms in terrestrial and martian channels. *Proc. Lunar and Planetary Science*, 1978, IX<sup>th</sup>, 3193-3203.
4. Baker et coll. – Ancient ocean-land atmosphere interactions on Mars : global model and geological evidence. *Lunar and Planetary Conference*, XX<sup>th</sup>, 1990.
5. Battistini R. – L'utilisation des cratères météoritiques à ejecta fluidisés comme moyen d'étude spatiale et chronologique de l'eau profonde de Mars. *Rev. Géom. Dyn.*, 1984, 23, 1, 25-41.
6. Cabrol N. – Morphological variations and evolution of channels on Mars. *Lunar and Planetary Conference*, XX<sup>th</sup>, 1989.
7. Cabrol N. – Physiographic characteristics of martian drainage basins. *Lunar and Planetary Conference* XXI<sup>st</sup>, 1990.
8. Cabrol N. et Grain E. – Mars : relation between impact seismicity and runoff formation by fluidization of permafrost. *Lunar and Planetary Conference* XXII<sup>nd</sup>, 1991.
9. Cabrol N., Grin E. – Martian paleohydrology and its implications for exobiology science. *Lecture notes in Physics* paru.
10. Carr M. – Formation of martian flood features by release of water from confined aquifers. *J. Geophysical Res.*, 1979, 84, 2995-3007.
11. Carr N. – *Channels of Mars*. Austin, University of Texas Press, 1982.
12. Fourmarier P. – *Hydrologie*, Paris, Masson, 1939.
13. Komar P. – Comparison of the hydraulics of water flows in martian outflow channels with flows of similar scale on Earth. *Icarus*, 1979, 37, 156-181.
14. Komar P. – Modes of sediment transport in channelized water flows with ramifications of the erosion of martian outflow channels. *Icarus*, 1980, 43, 317-329.
15. Kuzmin R. et coll. – Martian cryolithosphere : mapping of vertical type. *Lunar and Planetary Conference* XX<sup>th</sup>, 1989.
16. Louchet A. – *La planète Mars. Description géographique*. Paris, Masson, 1988.
17. Lucchitta B. – Lakes or playas in Valles Marineris (abstract). *NASA Tech. Memo*, 1981, 84211, 233-234.
18. Lucchitta B. et coll. – Chryse Basin channels, low gradients and ponded flows. *Proceedings of Lunar and Planetary Science Conference*, XXIII<sup>th</sup>, part 2. *J. Geophysical Res.*, 1983, 88, suppl. A553-A586.
19. Lucchitta B. – Recent mafic volcanism on Mars, *Science*, 1987, 235, 565-567.
20. Masursky H. – An overview of geophysical results from Mariner 9. *J. Geophysical Res.*, 1973, 78, 4009-4030.
21. Masursky H. et coll. – Classification and time of formation of martian channels based on Viking data. *J. Geophysical Res.*, 1977, 82, 4016-4038.
22. Mc Cauley J. – Geologic map of the coprates quadrangle of Mars. *USGS Misc. Invest. Ser. Map*, 1978, 1-897.
23. Mc Enzie. – Gravity, topography and thermal convection. *JPL NASA*, 1990, 17, 21-28.
24. Mc Kay C. et coll. – Thickness of ice on perennially frozen lakes. *Nature*, 1985, 313, 561-562.
25. Mc Kay C. – 1986, Exobiology and future Mars missions : the search for Mars earliest biosphere. *Advance in Space Research*, 1986, 6, 269-285.
26. Mc Kay C., Nedell S. – Are there carbonate deposits in Valles Marineris, Mars ? *Icarus*, 1988, 73, 142-148.
27. Mc Kay C. et coll. – The early environment and its evolution on Mars : implications for life. *Review of Geophysics*, 1989, 27, 2, 189-214.
28. Milton D. – Walter and processes of degradation in the martian landscape. *J. Geophysical Res.*, 1973, 78, 4037-4047.
29. Nedell S. et coll. – Origin and evolution of layered deposits in the Valles Marineris, Mars. *Icarus*, 1987, 70, 409-441.
30. Newsom H. – Hydrothermal alteration of impact melt sheets with implications on Mars. *Icarus*, 1980, 44, 207-216.
31. Owen T. et coll. – Deuterium on Mars : the abundance of HDO and the value of D/H, *Science*, 1988, 240, 1767-1770.
32. Pieri D. – Martian channels : distribution of small channels on the martian surface. *Icarus*, 1976, 27, 895-897.
33. Pieri D. – Martian valleys : distribution, age and origin. *Science*, 1980, 210, 895-897.
34. Pollack J. et coll. – The case for a wet, warm climate on early Mars, *Icarus*, 1987, 71, 203-224.
35. Sagan C. et coll. – Evolution of atmospheres of Earth and Mars and surface temperatures, *Science*, 1972, 177, 52.
36. Shopf J., Paker B. – Early archean (3,3 billion to 3,5 billion-year old) microfossils from Warra woona Group, Australia, *Science*, 1987, 237, 70-73.
37. Tardy Y. – *Le cycle de l'eau*. Paris, Masson, 1986.



# Prise en charge de l'enurésie en milieu thermal

## Saison 1989

P. JEAMBRUN, E. DEMOLOMBE, E. GILLES, M. LACROIX\*

(*Lons-le-Saunier*)

### RÉSUMÉ

La prise en charge de l'enurétique à Lons-le-Saunier est originale à deux titres : les enfants sont reçus en Maisons d'Enfants à Caractère Sanitaire, spécialisées pour cures thermales, plutôt qu'en cures libres avec leur famille. La durée du séjour est de 42 jours : 21 j en cure et 21 j en postcure climatique en moyenne altitude. Chaque année une analyse statistique des résultats et épidémiologique est faite. En 1989, 968 énurétiques ont été reçus âgés de 5 à 18 ans. 52,3 p. cent ont des antécédents familiaux d'enurésie (26,2 % chez les parents et 26,1 % dans la fratrie). 72,2 p. cent ont une famille « conforme ». 81,8 p. cent sont résistants à un traitement antérieur et 43,7 p. cent en ont essayé plusieurs, confirmant ainsi que pour beaucoup, la cure thermale est le dernier recours. Tout traitement anti-enurétique est arrêté pendant le séjour. On observe une moyenne de 5,39 nuits mouillées par semaine avant la cure et entre 2,02 et 2,64 nuits mouillées pendant le séjour. 38,7 p. cent présentent une amélioration de 75 p. cent fréquence avant la cure, 25,8 p. cent une amélioration de 50 p. cent, 17,8 p. cent une amélioration de 25 p. cent, 12,7 p. cent pas d'amélioration et 4,9 p. cent une aggravation de leur énurésie. Nous avons calculé les scores de 0 à 7 où 7 représente une énurésie quotidienne et 0 aucune nuit mouillée par semaine. Durant le séjour, il est noté 26 p. cent de score 0 et 3,5 p. cent de score 7, soit 22,9 p. cent de guérison pendant le séjour. Une efficacité, avec des différences significatives, est prouvée pour chaque tranche d'âge et par sexe : elle augmente avec l'âge et est plus grande chez les filles. Les traitements de l'enurésie sont nombreux, la prise en charge en milieu thermal en est un. Notre ambition est de pouvoir dire à quel moment devrait intervenir la cure pour avoir les plus grandes chances de guérison.

Mots clés : Enurésie - Thermalisme - Lons-le-Saunier - Épidémiologie.

### SUMMARY

Enuresis treatment with thermal environment (Lons-Le-Saunier - Jura). - The management of enuresis at Lons-Le-Saunier has two original features : the patients are received in children's house rather than free cure with family and they stay 6 weeks, 3 weeks for the cure and 3 weeks for climatic postcure. Each year a statistical analysis of results and epidemiology is made. In 1989, 968 enuretic children ranging in age from 5 to 18 years were received. 52,3 % have family history of enuresis (26,2 % with parents, 26,1 % with siblings) 72,2 % have a « normal » family. 81,8 % were resistant to previous treatment and 43,7 % tried several types strengthened us that the cure is the last chance for many. The anti-enuresis pharmacologic therapies are stopped during the 6 weeks. Before the cure, we have 5,39 mean wet nights for a week and between 2,02 and 2,64 mean wet nights for a week during the 6 weeks. 38,7 % have 75 % amelioration / the weekly frequency before the cure ; 25,8 % have 50 % amelioration, 17,8 % have 25 % amelioration, 12,7 % have no change and 4,9 % have aggravation of their enuresis. We have calculated the scores 7 to 0 that means 7 : every night is wet during the week and 0 : all nights are dry during the week. During the 6 weeks : 25,6 % score 0 and 3,5 % score 7. We have 22,9 % total cessation of wetting. An efficiency is proved for each age group with a greater one for the oldest. The effect significantly different, is greater for girls than boys. There are many different types of enuresis treatment, the thermal one has its place.

Key words : Enuresis - Thermalism - Lons-le-Saunier - Epidemiology.

\* Médecins thermaux à Lons-le-Saunier.

Tirés à part : Dr P. Jeambrun, 42, rue Boileau, 75016 Paris.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

L'enurésie est un problème fréquemment rencontré chez l'enfant en âge scolaire, problème que l'on retrouve chez près de 1 p. cent des conscrits [5]. Sa définition en est simple : **existence de mictions actives, complètes, involontaires et inconscientes chez un enfant âgé de plus de cinq ans.**

Ce n'est pas pour autant que l'on en connaît le mécanisme exact puisque l'on invoque tour à tour :

- des troubles du sommeil, de la maturation vésicale, de la sécrétion d'hormone antidiurétique,
- une défaillance du contrôle central,
- une mauvaise éducation de la propreté sans oublier les problèmes psychologiques.

L'étiopathogénie incertaine est confirmée par la multiplicité des traitements proposés. Le médicament thermal est l'un deux.

Il est difficile à tout médecin exerçant en station de mener une étude clinique en s'appuyant sur la composition de l'eau qu'il prescrit, tant il est vrai qu'il est sous-informé dans ce domaine.

L'exemple de notre station est frappant et nous citons nos sources d'information analytique pour l'anecdote.

Lons-le-Saunier (Jura) possède deux sources salines, typiquement chlorurées-sodiques de concentration très différente :

– les eaux « vierges » :  $\text{Na}^+ : 6\,521,74 \text{ mE/l}$   
 $\text{Cl}^- : 4\,766,18 \text{ mE/l}$

Noter le déséquilibre  $\Delta : +1\,755,56 \text{ mE/l}$

– la source *Lédonia* :  $\text{HC}O_3^- : 4,8 \text{ mE/l}$   $\text{Ca}^{++} : 44,41 \text{ mE/l}$   
 $\text{SO}_4^{--} : 62,5 \text{ mE/l}$   $\text{Mg}^{++} : 16,12 \text{ mE/l}$   
 $\text{Cl}^- : 171,83 \text{ mE/l}$   $\text{Na}^+ : 202,17 \text{ mE/l}$   
 $\text{Br}^- : \text{K}^+ : 5,52 \text{ mE/l}$   
 $\text{F}^- : \text{NO}_3^- : \text{-----}$   
 $\Sigma^- : -239,13 \text{ mE/l}$   $\Sigma^+ : +268,07 \text{ mE/l}$   
 $\Delta : +28,94 \text{ mE/l}$

Le déséquilibre anions/cations pour *Lédonia* le caractère squelettique de l'analyse des eaux « vierges », sont les obstacles qui contraignent le corps médical à ne parler que d' « eau », sans préciser sa composition ionique, ni attribuer à tel ou tels ion(s) un effet thérapeutique ni les désigner comme le support des progrès constatés pendant la cure.

Environ 1 000 enfants énurétiques âgés de 6 à 18 ans sont reçus par saison.

Un système original de prise en charge a été mis en place :

– les enfants sont reçus en Maison d'Enfants à Caractère Sanitaire, spécialisées pour cures thermales plutôt qu'en cures libres où les enfants sont accompagnés de leur famille,

– la durée du séjour est de 42 jours, 21 jours en cure à Lons-le-Saunier suivis de 21 jours de postcure climatique à la campagne en moyenne altitude.

## DOUBLE PRISE EN CHARGE

Le traitement thermal conjugue plusieurs actions différentes :

– les bains hypersalins en piscine collective préparés à partir d'un mélange eau *Lédonia* et eaux vierges, à concentration croissante au cours du séjour (pour  $40 \text{ m}^3$  :  $36,8 \text{ m}^3$  d'eau *Lédonia* +  $3,2 \text{ m}^3$  d'eaux « vierges » au cours de la première semaine ;  $33,6 \text{ m}^3$  d'eau *Lédonia* +  $6,4 \text{ m}^3$  d'eaux « vierges » au cours de la deuxième semaine et  $30,4 \text{ m}^3$  d'eau *Lédonia* +  $9,6 \text{ m}^3$  d'eaux « vierges » au cours de la troisième semaine).

Le mélange est chauffé à  $27 - 30^\circ$  après passage à travers un échangeur à plaques en titane,

– les séances d'inhalation collective en salle de micronisation d'eau *Lédonia* ou les curistes pratiquent une gymnastique respiratoire et de maintien,

– la boisson d'eau *Lédonia* [6] assortie d'une prise en charge psychologique qui dure 42 jours hors du milieu familial.

Faute de traitement spécifique, il s'agit d'une prise en charge globale tant sur le plan physique que psychologique [2].

### Sur le plan physique

Il y a un effet tonique de la cure saline par la balnéation, la cure de boisson et les aerosols. L'amélioration du contrôle neuromusculaire est obtenue par des activités telles que la gymnastique. Celle-ci se fait selon trois axes principaux : respiration, musculation abdomino-spinale, mobilisation scapulaire et pelviennie.

Cette gymnastique de maintien est poursuivie en post-cure avec d'autres activités paramédicales telles que la spiroscopie et le jonglage.

Tout ceci concourt à ce que l'enfant développe la maîtrise de son corps.

### Sur le plan psychologique

La séparation d'un entourage oppressant est le plus souvent bénéfique.

La vie en groupe, le contact avec d'autres enfants présentant la même affection ont un effet dédramatisant certain. Dans un temps de séjour aussi bref, aucune psychothérapie particulière ne peut être entreprise. Les psychologues n'interviennent que sur demande des médecins ou du personnel d'encadrement pour :

- résoudre une difficulté particulière,
- préciser un diagnostic en vue d'un conseil à la famille,
- orienter vers une consultation de psychiatrie infantile proche du domicile de l'enfant.

Les parents, s'ils le désirent, sont reçus par l'équipe soignante le jour de l'arrivée des enfants.

En dehors de ces interventions ponctuelles, le rôle des psychologues est surtout de former et conseiller les jeunes animateurs dont la qualité du contact avec les enfants est un facteur important dans la réussite de la cure.

### Mesures adjuvantes

Une sieste quotidienne, systématique après le déjeuner, est remplacée par un temps calme pour les adolescents.

Le réveil nocturne éducatif est poursuivi pendant tout le séjour, celui-ci doit-être complet pour permettre une miction consciente. Il est réservé aux enfants qui le comprennent et l'acceptent ; il ne peut avoir aucun effet thérapeutique s'il est ressenti comme une brimade. Les plus grands sont invités à se prendre eux-mêmes en charge pour l'heure du réveil. Les couches ou garnitures sont absolument proscrites. Tout traitement médicamenteux à visée antiénurétique est arrêté pendant le séjour.

L'originalité de la prise en charge lédonienne réside dans l'aménagement d'une période de transition pour garantir les effets bénéfiques de la cure et répondre à l'inconvénient majeur du retour immédiat des curistes dans leur milieu familial souvent impropre à cette consolidation.

Le lieu de post-cure est choisi parmi les maisons d'enfants réparties sur les plateaux du Jura en moyenne altitude de 300 à 800 mètres. La prise en charge est identique, les soins thermaux en moins, bien sûr.

Tout est mis en œuvre pour entraîner une démythification de l'affection qui comporte encore une connotation de maladie honteuse dans bien des familles, une motivation pour la prise en charge personnelle des troubles, une amélioration de la psychomotricité et un épanouissement général de la personnalité.

## RÉSULTATS

Depuis 1987, l'équipe médicale de l'établissement thermal a mis au point une étude statistique en collaboration avec le service informatique du CHU de Besançon afin de prouver l'efficacité du traitement thermal dans l'énurésie. Chaque année, l'ensemble des enfants est analysé tant sur le plan épidémiologique que sur le plan des résultats.

## ANALYSE ÉPIDÉMIOLOGIQUE

968 enfants énurétiques âgés de 5 à 18 ans ont été reçus en 1989 à Lons-le-Saunier (fig. 1 : pyramide des âges).

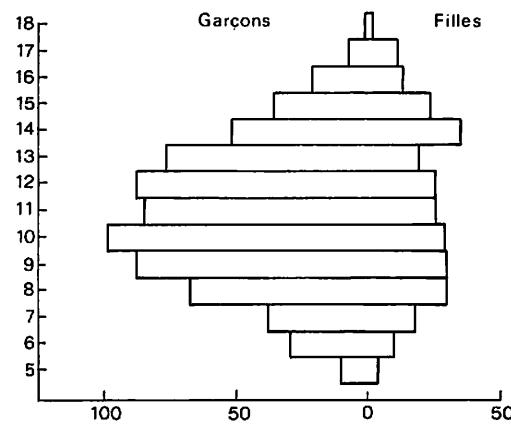


Fig. 1. – Pyramide des âges des patients.

Le contrôle de la miction étant plus précoce chez les filles que chez les garçons, le diagnostic d'énurésie se pose à partir de 5 ans pour les filles et de 6 ans pour les garçons [3].

L'énurésie atteint 15 à 20 p. cent des enfants de 5 ans. Avec approximativement 15 p. cent de guérison par an, 1 à 2 p. cent des adolescents de 15 ans sont encore énurétiques dans une étude nord-américaine [7].

En France, 1 pour cent des conscrits sont littéralement englués dans ce problème [5].

Cinq tranches d'âge ont été déterminées sans tenir compte du moment de la puberté qui n'intervient pas dans l'évolution de l'énurésie car la fréquence de l'énurésie diminue de façon tout à fait parallèle avec l'âge [3].

	Garçons	Filles
moins de 9 ans :	268 soit 27,7 % de l'effectif	70,9 % 29,1 %
9-11 ans :	237 soit 24,5 %	77,6 % 22,4 %
11-12 ans :	113 soit 11,7 %	79,6 % 20,4 %
12-13 ans :	96 soit 9,9 %	80,2 % 19,8 %
plus de 13 ans :	254 soit 26,2 %	62,2 % 37,8 %
Total	72,2 %	27,8 %

Nous constatons une proportion de 2,6 garçons pour une fille, un peu plus que le résultat avancé par Crawford [3] : 1,5 pour 1 à 2 pour 1. Les garçons sont plus atteints que les filles et ce dans toutes les tranches d'âge.

### Nombre de cures

L'effectif est le suivant :

- première cure, est de 627, soit 64,8 p. cent,
- deuxième cure, de 207, soit 21,4 p. cent,
- troisième cure, de 96, soit 9,9 p. cent,
- quatrième cure et plus, de 38, soit 3,9 p. cent.

L'effectif est important pour la 1<sup>re</sup> cure ; il chute ensuite très rapidement. Y a-t-il guérison dès la première cure ? L'enfant repart avec un calendrier à remplir et à renvoyer en mars. Un questionnaire est systématiquement envoyé en mars pour connaître l'évolution de l'énurésie. Le bilan 1989-1990 n'est pas encore exploité.

#### Formes évolutives de l'énurésie par tranches d'âge

	Garçons	Filles
Énurésie primaire (I)	805 soit 83,3 %	73,4 % 26,6 %
Énurésie secondaire (II)	161 soit 16,7 %	66,5 % 33,5 %

Le diagnostic d'énurésie secondaire se pose après une période de sécheresse de six mois.

Un symposium s'est tenu aux USA en août 88. Il en ressort que 20 à 25 p. cent des énurésies sont secondaires [7], or nous trouvons dans notre échantillon un pourcentage de 16,7 p. cent. De même, l'incidence de l'énurésie secondaire augmente avec l'âge et à 12 ans, 50 p. cent des énurésies sont secondaires [3], voulant peut-être dire qu'avec l'âge les traumatismes psychologiques augmentent aussi.

Or notre échantillon révèle une incidence stable de cette forme avec l'âge.

	II	I
moins de 9 ans :	19,8 %	80,2 %
9-11 ans :	13 %	87 %
11-12 ans :	15 %	85, %
12-13 ans :	13,8 %	86,2 %
plus de 13 ans :	18,5 %	81,5 %

A 12 ans et plus, 288 enfants sont atteints d'énurésie primaire soit 82,8 p. cent et 60 d'énurésie secondaire soit 17,2 p. cent (fig. 2).

Les formes I et II ont été étudiées en fonction de la situation familiale en adoptant le classement suivant : famille « conforme » et « non conforme » englobant divorce, décès d'un parent, adoption et placement de l'enfant.

Les familles conformes représentent 72,2 p. cent de l'effectif et il n'y a pas une incidence plus élevée d'énurésies secondaires dans les familles non conformes : 15,2 p. cent contre 17,2 p. cent dans les familles conformes comme il est habituel de le penser [1].

Les filles sont plus nombreuses à vivre dans une famille non conforme : 29 p. cent contre 27,3 p. cent chez les garçons sans que ces différences soient significatives.

Pour les *antécédents familiaux* d'énurésie nous obtenons le pourcentage suivant :

- sans antécédent : 462 soit 47,7 p. cent,
- chez les parents : 254 soit 26,2 p. cent,
- dans la fratrie : 252 soit 26,1 p. cent.

Ce qui fait un total de 52,3 % avec des antécédents familiaux d'énurésie.

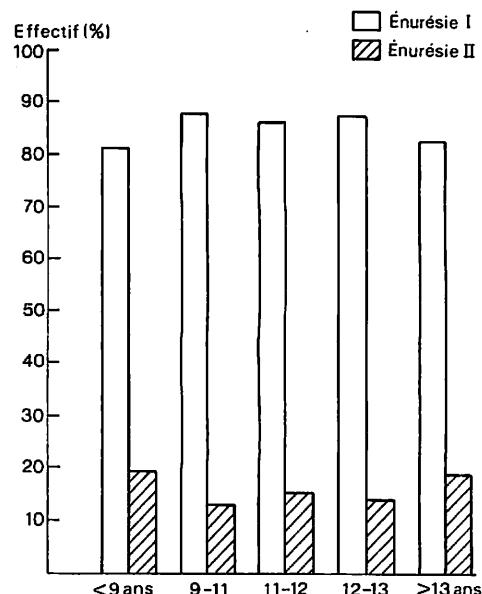


Fig. 2. - Forme évolutive de l'énurésie par tranche d'âge.

La fratrie a toujours été privilégiée par rapport aux parents, les parents incluant la famille élargie : oncles, tantes ou grands parents.

L'énurésie primaire est plus fréquente chez les enfants ayant eu un membre de leur famille atteint (54,2 contre 45,8 %), ceci en conformité avec l'étude épidémiologique française faite en 1989 à partir d'un échantillon de 489 enfants [1].

#### Profil de l'enfant

3,2 p. cent souffrent d'une constipation infirmant que celle-ci est souvent associée à une énurésie.

14 p. cent des enfants sont gauchers et 38,7 p. cent se rongent les ongles.

25,5 p. cent portent des couches, ce pourcentage diminue avec l'âge mais près de 12,6 p. cent en portent encore à 12 ans et plus. Le lever nocturne est pratiqué dans 42,2 p. cent des cas.

42,2 p. cent des enfants observent un retard scolaire déterminé par le redoublement d'une classe. Le pourcentage d'échecs augmente avec l'âge ce qui est normal mais à des taux particulièrement élevés : 17,2 p. cent ; 33,5 p. cent ; 37,1 p. cent ; 52 p. cent et 75,2 p. cent pour chaque tranche d'âge étudiée. Il existe manifestement un problème dans leur épanouissement intellectuel. Selon les statistiques de l'Education Nationale, en cycle Primaire la moyenne de redoublement pour la population générale, est de 7,2 p. cent et dans le cycle Secondaire entre 10 et 20 p. cent.

En reprenant la classification du Pr. Lenoir [4] des différentes formes d'énurésie :

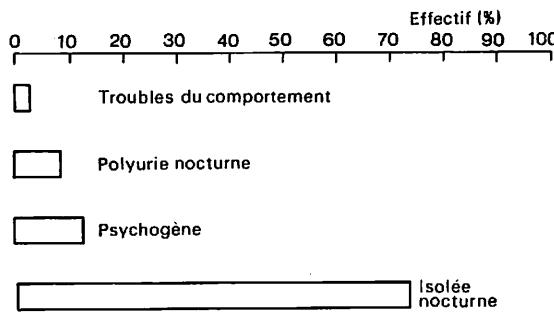


Fig. 3. – Formes cliniques.

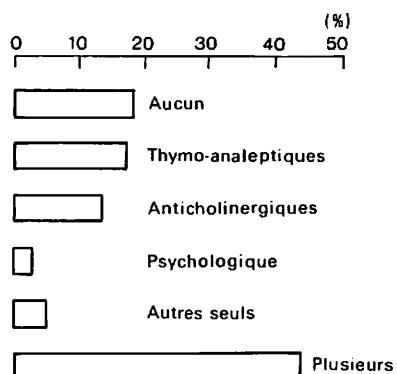


Fig. 4. – Traitements antérieurs.

- forme isolée nocturne : 74,8 p. cent de l'effectif,
- psychogène : 13 p. cent,
- polyurique nocturne : 8,8 p. cent,
- énurésie avec troubles du comportement 2,7 p. cent.

Nous ne voyons pratiquement pas de cas d'énurésie diurne (0,5 %) ou avec une irritation locale (0,1 %) (fig. 3).

Six groupes ont été constitués en ce qui concerne le *traitement antérieur* (fig. 4). 18,2 p. cent n'ont eu aucun traitement et 43,7 p. cent en ont reçu plusieurs.

Parmi les traitements uniques, 38 p. cent de l'effectif,

les thymoanaleptiques arrivent en tête avec 17,1 p. cent, puis les anticholinergiques avec 13,2 p. cent, puis soutien psychologique 3,3 p. cent, homéopathie 1,7 p. cent, cure à Salins 1,3 p. cent, desmopressine 0,9 p. cent, pipi-stop 0,4 p. cent, acupuncture 0,1 p. cent.

Quatre enfants sur cinq ont donc déjà essayé une ou plusieurs de ces thérapeutiques montrant ainsi que pour beaucoup la cure thermale à Lons-le-Saunier représente le dernier recours.

Aucun	Thymoanal.	Antichol.	Psychol.	Autres seuls	Plusieurs
176	166	128	32	43	423
18,2 %	17,1 %	13,2 %	3,3 %	4,4 %	43,7 %

Les thymoanaleptiques arrivent donc largement en tête alors qu'un consensus se dégage pour ne plus les prescrire dans cette indication (Assises de l'énurésie, Paris, décembre 1989).

L'imipramine et ses dérivés ne sont pas des médicaments anodins et l'on peut s'étonner de les voir prescrits chez de jeunes enfants à des doses importantes et pendant longtemps, alors qu'ils sont maniés avec beaucoup de précautions chez l'adulte. Un danger mortel existe d'une intoxication aiguë dont les doses sont assez proches des doses thérapeutiques [4].

En étudiant formes cliniques et traitement, on remarque que tous les traitements sont essayés dans chaque forme, sans schéma thérapeutique précis. Par exemple, les thymoanaleptiques sont les plus prescrits dans la forme polyurique nocturne alors que celle-ci relève de la desmopressine.

Il faut souligner que tous les traitements à visée anti-énurétique sont suspendus pendant le séjour.

## ANALYSE STATISTIQUE DES RÉSULTATS

Les moyennes des fréquences hebdomadaires de nuits mouillées sont significativement différentes avant la cure et pendant le séjour ( $p < 0,05$ ).

La moyenne générale est de 5,39 nuits mouillées par semaine avant la cure et entre 2,02 et 2,64 nuits mouillées au cours du séjour. Le meilleur résultat obtenu au cours de la première semaine, suggère que la coupure du milieu familial est le facteur le plus important (fig. 5).

La classification suivante a été adoptée en référence à la fréquence de l'énurésie donnée avant le séjour : amélioration importante = 75 p. cent; moyenne = 50 p. cent ; légère = 25 p. cent ; pas d'amélioration ou aggravation =

- 38,7 p. cent de l'effectif présentent une amélioration importante ;
- 25,8 p. cent une amélioration moyenne, soit 64,5 p. cent de résultats satisfaisants ;
- 17,8 p. cent une légère amélioration ;
- 12,7 p. cent pas d'amélioration 4,9 p. cent voient leur énurésie s'aggraver.

Les études comparables concernent la desmopressine (Minirin) qui est un analogue de l'hormone anti-diurétique car il a été mis en évidence chez les énurétiques polyuriques un trouble de la sécrétion nyctémérale de cette hormone. Douze études font état de 65 à 10 p. cent d'amélioration.

Avec 64,5 p. cent de bons résultats, le médicament thermal a sa place dans la pharmacopée.

Une autre façon d'exprimer les résultats est de calculer le score de l'énurésie avant et pendant le séjour c'est-à-dire le nombre d'enfants présentant :

- une énurésie nulle soit le score 0,
- une fois par semaine soit le score 1, etc.
- une énurésie quotidienne soit le score 7 (fig. 6).

Les résultats s'inversent complètement entre les scores 0 et 7.

Le score 7 est de 54,4 p. cent avant et de 3,5 p. cent pendant le séjour.

Le score 0 est de 2,7 p. cent avant pour passer à 25,6 p. cent pendant le séjour, ce qui veut dire que l'on obtient 22,9 p. cent de guérisons, du moins pendant la durée de notre prise en charge.

Examinons ces résultats en fonction de l'âge, du sexe et du nombre de cures.

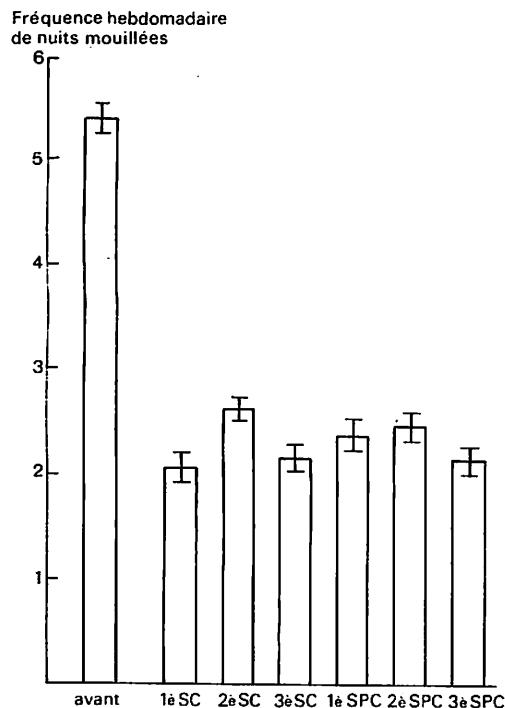


Fig. 5. – Fréquence hebdomadaire de nuits mouillées.

Une différence d'efficacité est démontrée pour chaque tranche d'âge et par sexe.

Il existe une efficacité propre avec une différence significative pour chaque tranche d'âge, ceci en tenant compte des données de départ qui sont plus élevées chez les plus jeunes et plus basses chez les plus âgés (fig. 7).

Les moins de 9 ans ont une moyenne de départ de 5,93 nuits mouillées hebdomadaires, réduite à 2,46 et 3,51 nuits mouillées au cours du séjour.

Les plus de 13 ans ont une moyenne de départ de 4,63 nuits mouillées et entre 1,24 et 1,74 nuits mouillées au cours du séjour. La progression des moyennes de départ et des résultats au cours du séjour suit pratiquement la progression chronologique des tranches d'âge.

De la même façon, en étudiant le taux de 75 p. cent d'amélioration en fonction de l'âge, on constate que celui-ci augmente avec l'âge :

- 28,3 p. cent chez les moins de 9 ans,
- 33,1 p. cent chez les 9-11 ans,
- 41 p. cent chez les 11-12 ans,
- 42 p. cent chez les 12-13 ans,
- 52,3 p. cent chez les plus de 13 ans.

L'amélioration des résultats suit la progression des tranches d'âge, elle est plus nette chez les plus grands.

Les résultats en fonction du sexe montrent une nette amélioration dans les deux groupes mais elle est toujours plus importante chez les filles que chez les garçons avec des différences significatives (fig. 8).

Pour ce qui est du nombre de cures, il existe une amélioration en fonction de leur nombre mais qui n'est pas significative, à l'inverse de ce que l'on constate pour les résultats en fonction de l'âge ou du sexe.

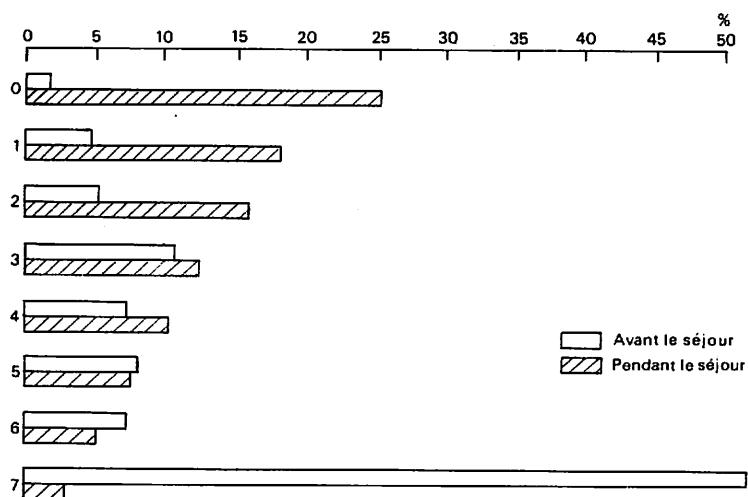


Fig. 6. – Scores de l'enurésie.

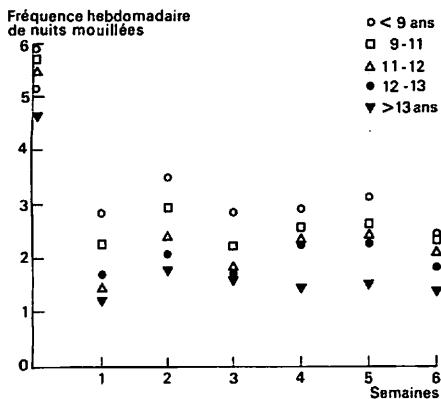


Fig. 7. - Evaluation de la fréquence hebdomadaire des nuits mouillées en fonction de l'âge.

On peut seulement dire que l'amélioration se poursuit avec le nombre de cures, elle est peu sensible entre 1 et 2, plus importante entre 2 et 3, après il y a peu de différence. Poursuivre au-delà de 3 cures n'apporte pas de bénéfice supplémentaire (fig. 9).

Notre étude ne démontre pas d'effet propre ou de différences d'efficacité en fonction de :

- la forme primaire ou secondaire,
- des formes cliniques,
- du type de traitement antérieur,
- la situation familiale,
- de l'onychophagie,
- du port de couches, avec toutefois, pour ce dernier, une efficacité plus grande chez ceux qui n'en portaient pas. Ceci conforte, s'il en était besoin, le fait de prohiber le port de couches.

Par contre, il existe une différence d'efficacité significative en fonction de l'aptitude scolaire, l'efficacité étant plus grande chez ceux qui ont un retard scolaire.

Mais l'activité thérapeutique des eaux ne peut être établie avec certitude de par l'insuffisance de connaissance des éléments dissous que nous avons. Nous espérons pouvoir remédier à ce problème rapidement.

## CONCLUSION

Par cette étude nous démontrons l'efficacité de la cure thermale à Lons-le-Saunier thérapeutique non toxique déployée dans le traitement de l'enurésie.

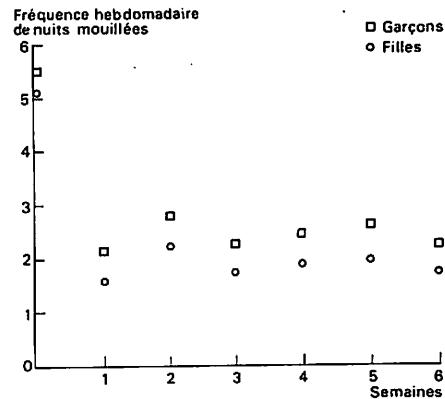


Fig. 8. - Evaluation de la fréquence hebdomadaire des nuits mouillées en fonction du sexe.

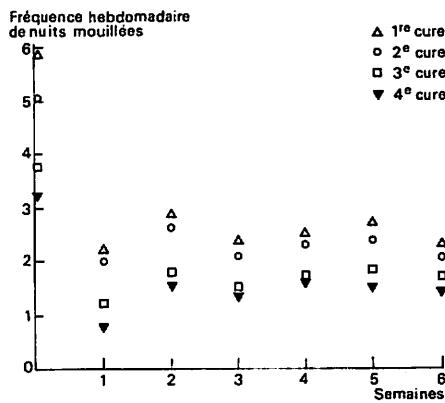


Fig. 9. - Influence du nombre de cures.

Chaque année, notre effectif sera analysé de cette manière et notre ambition est de pouvoir dire à quel moment devrait intervenir la cure pour avoir les plus grandes chances de guérison et en raccourcir l'évolution.

Actuellement, nous pouvons dire qu'une efficacité est démontrée pour chaque tranche d'âge, plus grande chez les plus âgés, et en fonction du sexe avec une efficacité plus grande chez les filles.

Ceci est d'autant plus important à souligner que quatre enfants sur cinq viennent en cure après l'échec de toutes les autres thérapeutiques.

## RÉFÉRENCES

1. Assises Nationales de l'Enurésie - Laboratoires Ferring, Paris, 1<sup>re</sup> décembre 1989.
2. Bonnes E., Demolombe E., Excoffier P., Jeambrun P., Lacroix M. - Pratiques de la cure lédonienne dans l'enurésie, 1984.
3. Crawford J.D. - Introductory comments of treatment of nocturnal enuresis, proceeding of a symposium held august 6, 1988, Supplement to The *J.Pediatr.*, 1989, 114, 4, 2, 687-690.
4. Lenoir G. - Les traitements de l'enurésie. In : Entretiens de Bichat, Thérapeutique, Paris, Expansion Scientifique Française, 1986.
5. Lenoir G. - Traitement de l'enurésie de l'enfant par la DDAVP/desmo-pressine. *Gaz. Méd.*, 1987, 94, 39.
6. Romand S. - *Les techniques thermales de Lons-le-Saunier et leurs applications cliniques*. Thèse Pharm., Lyon, 1985.
7. Rushton H.G. - Nocturnal enuresis : Epidemiology, evaluation and currently available treatment options, proceeding of a symposium held august 6, 1988, Supplement to The *J. Pediatr.*, 1989, 114, 4, 2, 691-696.

# Spa treatment of degenerative arthropathies

B. MESSINA

(Roma)

## RÉSUMÉ

**Traitements thermal des arthropathies dégénératives.** — Pour la définition et la classification des arthropathies dégénératives on se réfère à la classification des Maladies Rhumatismales proposée par la Société Italienne de Rhumatologie (1986). En Italie, le moyen de cure thermale le plus utilisé dans le traitement des arthropathies dégénératives est la boue thermale, c'est à dire un peloïde dérivé du mélange, primaire ou secondaire, d'un composant solide (inorganique et/ou organique) avec de l'eau minérale. Le traitement des arthropathies dégénératives représente en Italie, à peu près le 25 % des prestations thermales. La localisation de cette maladie qu'on relève le plus fréquemment dans les thermes italiens, c'est celle de la colonne vertébrale. Les possibilités de réussite du traitement sont accrues non seulement par un diagnostic exact de la maladie et de sa localisation, mais aussi par le constat des phases cliniques d'autres rhumatismes et d'autres maladies à étiopathologie non-rhumatismale. On cite les résultats et leur validité statistique obtenus par différents auteurs. Les effets favorables concernent : réduction de la douleur et de la limitation fonctionnelle, influences favorables sur certains paramètres biologiques, réduction de l'absentéisme de travail, réduction de la consommation des médicaments, amélioration de la cénesthésie. Les pourcentages d'amélioration augmentent si la fangothérapie est renouvelée pendant plusieurs années consécutives. Parmi les influences favorables de la fangothérapie il faut souligner la réduction du cholestérol libre, des triglycérides et l'augmentation du cholestérol HDL chez des ostéoarthrosiques qui avaient au départ des taux élevés des paramètres susdits.

**Mots clés :** Cures thermales – Fangothérapie – Arthropathies dégénératives – Lipides hématiques.

Both spa medicine and rheumatology are branches of medicine that can look back on a tradition of many centuries and are rich in culture, knowledge and science. Besides, rheumatology has recently been and still is the subject of an incredible amount of new infor-

Institute of Medical Hydrology, Rome University « La Sapienza », Italy.

**Tirés à part :** Pr B. Messina, Istituto di Idrologia Medica nella Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Roma La Sapienza, Policlinico Umberto I, Viale della Musica, 20, 00144 ROMA.

**Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.**

## SUMMARY

The classification of rheumatic diseases suggested by the Italian Society of Rheumatology (1986) is used here for the definition and classification of degenerative joint disease. In Italy, the thermal technique used most widely in the treatment of degenerative joint disease is thermal mud, i.e. a primary or secondary mud mixture consisting of a solid component (inorganic and/or organic) and mineral water. The treatment of degenerative joint disease accounts, in Italy, for approximately 25 % of all spa therapy procedures. The commonest site of such disease seen at Italian spa centres is the vertebral column. Possibilities of successful treatment are increased not only by a precise diagnosis of the disease and its site, but also in relation to the clinical phases of other types of rheumatism and other diseases of non-rheumatic pathogenesis. The results (and their statistical validity) obtained by various authors are reported. Favourable effects concern : decrease in pain and functional limitation, favourable influences on certain laboratory constants, reduced work absenteeism, reduced medication consumption and improved general lifestyle. Percentage improvement rates increase if mud therapy is repeated for several years in succession. Among the favourable consequences of mud therapy, particular emphasis should be placed upon lowering of free cholesterol and triglycerides and an increase in HDL cholesterol in osteoarthritis sufferers in whom these parameters are raised initially.

**Key words :** Spa treatment - Mud therapy - Degenerative joint disease - Blood lipids.

mation: suffice it to think of corticosteroids, immunomodulatory agents and immunology in general, non steroid anti-inflammatory agents.

It is in this lively field of studies and wealth of new information that spa treatment concerning rheumatology must find its place, and must find it by adopting the mentality and research methods of contemporary medicine.

This is essential because the further validity of spa medicine within the vast framework of therapeutic resources for rheumatic pathology can certainly not rely on the fact that in spite of the enormous number of research efforts not all types of rheumatic disorders are as yet completely controllable.

TABLE I. - Classification of rheumatic disorders  
(Società Italiana di Reumatologia, 1986)

Osteoarthritis and other degenerative disorders	
A)	Primary osteoarthritis
-	diffuse
-	localized (Hederden's and Bouchard's nodes, rhizarthrosis of the thumb, degenerative arthritis of the fingers, etc.)
B)	Osteoarthritis secondary to :
1)	dysplasias and dysmorphism
2)	traumata
3)	functional overload :
-	caused by obesity, scoliosis, unequal length of the lower limbs, etc
-	caused by sports or working activity
4)	arthritis
5)	congenital connective tissue disorders (Marfan syndrome, Morquio syndrome, mucopolysaccharidosis, etc.)
6)	primary chondropathies (synovial chondromatosis, osteochondritis dissecans)
7)	endocrine-metabolic chondropathies (diabetes, chondrocalcinosis, ochronosis, etc.)
8)	bone diseases (Paget's disease of bone, aseptic osteonecrosis, etc.)
C)	Degeneration of intervertebral disk
D)	Dysmetabolic hyperostotic polyarthropathy (DISH)
E)	Acromegalic arthropathy
F)	Patellar chondromalacia

TABLE II. - Sites of first painful manifestation of primary osteoarthritis (A study of 3 419 cases) (G. Ricci [13])

Joint	Males		Females	
	N° casi	%	N° casi	%
Lumbo-sacral spine	795	67.43	1 365	60.94
Cervical spine	80	6.78	276	12.32
Knee	74	6.28	159	7.10
Scapulo-humeral	56	4.75	88	3.93
Tibio-tarsal	29	2.46	38	1.69
Coxo-femoral	22	1.87	45	2.01
Hands	5	0.42	28	1.25
Thoracic spine	5	0.42	11	0.49
Elbow	6	0.51	4	0.18
Multiarticular	107	9.08	226	10.09

The subject of crenotherapy for degenerative joint diseases is very important in Italy both in view of the large number of subjects making use of it and of the considerable study efforts that have been and still are devoted to it. Therefore, it is not easy within the limited time at our disposal to select what should be reported here today, what should be presumed to be common knowledge in the audience, how to present and coordinate the material, since in spite of the time restrictions the problems cannot be oversimplified in a desceitful way.

For definition and classification of degenerative arthropathies, we refer to the Classification of Rheumatic Disorders suggested by the Società Italiana di Reumatologia (1986) (Table I).

TABLE III. - Factors involved in fango and in its application which must be taken into account in evaluating the therapeutic actions of fangotherapy

Composition of fango as derived from the process of maturation
A. <i>Fluid component</i>
Type of mineral water
B. <i>Solid component</i>
Inorganic
Quartz-felspath fraction
Calcareous fraction
Argillaceous fraction (montmorillonite, illite, etc.)
Water retaining capacity
Swelling capacity
Plasticity (granulometric state)
ion exchange capacity
Bulk mineralization
Organic
Humus
Humo-mineral aggregates
Microfauna
Phytoplankton
Other organic substances
C. <i>Physical appearance</i>
Temperature
Pressure
State of application
Extension of area covered by fango
Duration of single applications
Rhythm and duration of treatment cycle

The types most frequently encountered in Italian spa medicine are : primary osteoarthritis, osteoarthritis secondary to traumata, functional overload, dysmorphism.

As to the sites of first manifestation of pain in primary osteoarthritis, exhaustive data can be found in a study of 3 419 patients [13] shown in Table II.

In Italy, the most widely used type of spa treatment for degenerative joint diseases is thermal fango, i.e. a peloid obtained by primary or secondary mixing of a solid (inorganic and/or organic) component with a mineral water.

## PROPERTIES AND FACTORS CONCERNING FANGO

(Table III)

The mud used in Italy is so-called « mature » fango, i.e. a peloid the solid component of which has been in contact with a mineral water for at least six months.

Recently, we have started in cooperation with the Department of Chemistry of Rome University, a research aimed at studying whether it and when, once fango has become mature, its main physico-chemical properties remain constant or at least tend towards asymptotic values.

Some of these date have been presented to the FITEC Meeting at Abano Terme. The study has been followed up and has shown by means of thermogravimetry that during the six months of maturation the interaction between matrix and water continues and at least two further types of water appear in the mud. By means of differential thermal analysis it has been shown that after three and six months of maturation at about 440°C a peak emerges in the two lowest curves which corresponds to the oxidative breakdown of organic substances : this means that already after three months, these tend to increase in quantity and quality.

Using the technique of high-performance liquid chromatography (HPLC) with fluorescence detector, at the beginning of the maturation process a series of bands are seen on the dia. After six months, two peaks are found which have been attributed to sterols.

After six months, all our findings have become stabilized, thus showing that the empirical concept of maturation can nowadays be confirmed by experimental evidence.

We have now started the second stage of our research aimed at exploring which chemical compounds are apt to confer therapeutic activity to fango. Besides, we are also engaged in studying the interaction between mud and skin by investigating the variations in the strength of bonds between water molecules and skin layers in contact with mud. For this, too, chemists use differential flow calorimetry and thermal analysis.

Fango therapy of degenerative arthropathies in Italy amounts to about 25 % of all spa treatments (Table IV).

### THERAPEUTIC ACTIONS OF FANGOTHERAPY

All textbooks of Spa Medicine published in countries where mud treatment is used report favorable therapeutic results.

At this point, we must ask ourselves what is meant by favorable results, in other words what can be obtained by fangotherapy in terms of objective and subjective symptoms, of certain biohumoral parameters, and of evolution of the disorder.

In order to achieve successful results of spa treatment in degenerative arthropathies it is essential to have knowledge :

- of the exact diagnosis and localization of the diseases ;
- of the clinical stage ;
- of other rheumatic disorders present ;
- of other non-rheumatic disorders present ;
- the purpose of spa treatment (prevention, cure, rehabilitation) ;
- relationship to other therapeutic methods applied ;
- contraindication of spa treatment (and whether these can be remedied or not).

TABLE IV. – SPA treatments 1985  
(Italy, National Health Service)

Type of treatment	Subjects	%
Fangotherapy	343.494	24.57
Baths	73.796	5.23
Inhalation	636.993	45.16
Drinking cures	236.470	16.76
Tubo-tympanic insufflation	54.798	3.88
Others	65.045	4.40
<b>Totale</b>	<b>1.410.596</b>	

In rheumatology, crenotherapy has been found statistically more useful in the following conditions :

- stages of torrid activity of the disease ;
- absence of hyperalgia ;
- absence or moderate degree of inflammatory activity ;
- low tendency towards evolution of the disorder ;
- absence of irreversible joint and para-articular damage ;
- moderate or absent systemic repercussions.

### EVALUATION OF EFFICACY OF SPA TREATMENT

It is well known that the efficacy of a therapeutic method must be proved by clinical trials in which, apart from the treatment applied, chance is the only factor involved. What does efficacious mean ? An adequate definition might be the capacity of a therapeutic measure to achieve the effect for which it is being used in a significant percentage of the subjects treated.

In spa practice a number of aspects must be taken into account :

- type of disorder : acute, chronic, recurrent, tendency of the disease or of the acute phase to heal or subside spontaneously ;
- purpose of spa treatment : cure, prevention, rehabilitation ;
- direct and indirect criteria for evaluation.

Among the direct ones the following should be included : biological parameters, subjective and objective criteria, clinical-therapeutic criteria.

Speaking of subjective criteria, I should like of recall that rating scales have been worked out on which the patient is asked to indicate the frequency of symptoms or their intensity or similar aspects.

Indirect criteria include : days lost (from work or school, etc.), changes in the invalidity rating, drug use after spa treatment, reduced number of calls upon medical services, etc.

These indirect methods do not appear to be devoid of interest, especially if applied to large numbers. However, their evaluation is not easy and they cannot always replace direct methods.

*Statistical significance* : its importance is well known to all research workers and has already been referred to.

To sum up, fangotherapy can certainly not alter anatomic lesions ; it can, however, lead to :

- sedation or disappearance of pain ;
- muscle relaxation and hence improved joint function ;
- modification of metabolic changes ;
- psychologic improvement.

All this is not without importance for the quality of human life. It is to these effects that the terms « improvement » and « useful result » to be used below make reference.

## TREATMENT RESULTS

The general therapeutic pattern for the series reported below has been as follows : application of mature fango at a temperature of 48°C for 15-20 minutes, twelve days running, followed by the so-called reaction.

We report the results of some recent trials carried out in Italy. Messina *et al.* found useful results after six months in 77 % of 176 patients examined (these were drivers of public transport with osteoarthritis) [9].

Six months after treatment, Giordano found 85 % of useful results among 218 patients suffering from osteoarthritis in various localizations (Table V).

Messina *et al.* compared 36 subjects with lumbar osteoarthritis who had undergone fangotherapy with an equal number of untreated cases. The results shown in table VI give an improvement of painful symptomatology in 62 % at the end of the treatment cycle and of 72 % six months later ; these figures were statistically significant.

Giovanelli *et al.* in an open study in two groups of randomized patients suffering from radiologically confirmed osteoarthritis of the knee and lumbar spine applied twelve local mud treatments. Findings before and after this treatment are reported in table VII, expressed as the means of both groups. The study showed a good symptomatic result of fangotherapy in osteoarthritis of the knee and lumbar spine. The means have been compared with the use of Student's T, and the improvement has been found to be statistically significant both as far as subjective pain and rigidity after inactivity in the group with osteoarthritis of the knee was concerned.

In patients with osteoarthritis of the lumbar spine, parameters concerning active bending and distance index finger-floor did not reveal statistically significant changes whereas rigidity after inactivity and passive bending were significantly improved.

In a trial still in progress, Messina *et al.* [11] have studied patients with osteoarthritis undergoing mud treatment. We report the findings concerning subjects suffering from lumbar osteoarthritis in whom the dis-

TABLE V. – Six-months results in fangotherapy-treated patients with osteoarthritis

	Useful results (%)	Non useful results (%)
Messina <i>et al.</i> : 176 cases	77,8	22,2
Giordano <i>et al.</i> : 218 cases	85	15

TABLE VI. – Results at end of treatment cycle (twelve applications) of fangotherapy and after six months in patients suffering from lumbar osteoarthritis (Messina *et al.*)

N. cases	Improvement at end of cycle	Improvement at 6 months
36 (a)	62 %	72 %
36 (b)	3 %	3 %
p* 1,433613 <sup>-5</sup>		P* 10 <sup>-5</sup>

a) : patients treated with fangotherapy.

b) : untreated patients.

\* Fischer's test.

tance index finger-floor has been chosen as parameter for quantitative assessment to be measured before treatment and six months after its conclusion. These findings are reported in Table VIII, where it can be seen that bending capacity was improved in 66 % of the cases. A more detailed analysis of the 25 patients who were improved is shown, complete with statistical evaluation, in Table IX.

All parameters studied showed statistically significant changes when results were examined with Student's T for paired data.

Besides, it was found that improvement at the times studied was more frequent in subjects who had received spa treatment also in previous years.

## BIOHUMORAL ACTIONS OF FANGOTHERAPY IN OSTEOARTHRITIS

The large number of these actions has been studied for many years by many research workers ; here, we can only refer to a few. Some time ago, Messina *et al.* [11] studied immunoglobulins under fangotherapy and found that IgA did not change significantly, IgG increased considerably on day 4 and diminished subsequently so as to return to baseline values at the end of the treatment cycle (there was considerable variability compared to controls and to the pretreatment stage). IgM continued to rise until the end of treatment following an ascending curve.

Interestings studies have also been carried out by Grassi *et al.* on 40 patients of both sexes with osteoarthritis undergoing a treatment cycle of fifteen fango applications. Before, and at the end of the cycle the following were determined : alphas-antitrypsin, haptoglobin, ceruloplasmin, C-reactive protein. At the

TABLE VII.

	<i>m</i>		<i>CD</i>		<i>T</i> for comparison of means	<i>T</i> for comparison of paired data	Significance
	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>			
<b>Knee</b>							
Pain	1.79	1.88	0.84	0.59	4.26	6.31	p < 0.01
Stiffness	5.39	2.63	2.65	2.08	5.06	9.06	p < 0.01
Flexion	106.05	114.61	16.32	14.21	2.44	8.91	NS/p < 0.01
<b>Lumbar spine</b>							
Pain	2.57	1.37	0.77	0.56	6.90	7.21	p < 0.01
Stiffness	10.57	5.13	6.46	6.19	3.33	8.21	p < 0.01
Active flexion	2.23	2.63	0.68	0.67	2.30	3.89	NS/p < 0.01
Passive flexion	2.50	3.03	0.63	0.67	3.18	5.11	p < 0.01
Distance index finger-floor	7.43	5.07	4.25	4.21	2.17	4.39	NS/p < 0.01

Giovanelli *et al.*

TABLE VIII. - Evaluation of the bending capacity of the thoraco-lumbar spine measured as the distance index finger to floor (Follow-up finding)

	<i>N. Patients</i>	<i>Values %</i>
Complete bending capacity (a)	7	18
Limited bending capacity :		
- improved (b)	25	66
- stationary (c)	2	06
- deteriorated (d)	4	10
Total number of patients (e)	38	100

a : when first seen, unchanged at follow-up.

b : distance index finger-floor reduced compared to first check.

c : no change of limitations found at first check.

d : increased distance index finger-floor compared to first check.

e : patients seen at follow-up.

TABLE IX. - Distance index finger-floor in subjects with limited bending capacity improved after fangotherapy

<i>N. cases</i>	<i>Distance index finger-floor before treatment</i>	<i>Distance index finger-floor after treatment</i>	
2	18 cm	15 cm	
20	20 cm	18 cm	
1	22.5 cm	20 cm	
2	22.5 cm	18 cm	<i>p &lt; 0.05</i>

TABLE X. - Serum biochemistry of osteoarthritic patients treated with fangotherapy

	<i>End of treatment</i>	<i>90 days after treatment</i>
Osteocalcium	=	-( <i>p &lt; 0.002</i> )
25 OH	=	=
1,25 (OH) <sub>2</sub> D	=	=
PTH	=	=
(Benetollo <i>et al.</i> , 1987)		
Alpha-antitrypsin		-( <i>p &lt; 0.01</i> )
(Grassi <i>et al.</i> , 1984)		

end of treatment, only alpha-1-antitrypsin showed a significant change consisting in a fall. Since alpha-1-antitrypsin inhibits inflammatory reactions, the above finding – which is not easy to understand – might be connected with the suggestions put forward by various authors concerning the mechanism of action of fangotherapy, i.e. that in the early stages of treatment they activate non specific reactive mechanisms thus temporarily increasing the inflammatory response.

Benetollo *et al.* [1] studied bone homeostasis in patient with osteoarthritis undergoing fangotherapy (Table X). The values of 250HD, 1, 25 (OH)<sub>2</sub>D, PTH, osteocalcins were within the normal range before treatment; none of these hormones changed significantly at the end of treatment and 90 days later, with the exception of osteocalcins which fell significantly. The mean value of bone mineral content, evaluated as Average Areal Density of L2-L4, were in the normal range in all patients but one whose values were high borderline. During the study, no significant changes from basal values were detected after twelve applications of fangotherapy and 90 days later, and such small changes as were observed were not correlated to the biochemical and hormonal data. The authors therefore come to the conclusion that « according to these findings, mud therapy seems to be a safe procedure which does not result in a derangement of bone homeostasis in subjects with normal bone mineralisation ».

Also the influence of fangotherapy on the blood lipids of patients with osteoarthritis appears to deserve special interest. The findings are reported in Tables XI and XII. As shown, mud therapy appears to have a normalizing action on some lipid fraction if they are increased.

From the research referred to above and from data to be found in hydrological literature, fangotherapy of osteoarthritis is not devoid of general action on some hematochemical parameters. Some of these effects can be considered favorable to general health while others are useful for the understanding of the mechanisms of action of fangotherapy.

TABLE XI. - Serum lipids in normolipidemic osteoarthritic patients treated with fangotherapy

	End of treatment	90 days after treatment
Total cholesterol		
Grassi <i>et al.</i> (1985)	Non significant reduction	
De Gregorio <i>et al.</i> (1986)	Non significant reduction	
Benetollo <i>et al.</i> (1987)	Non significant increase	Non significant reduction
Non esterified cholesterol		
Grassi <i>et al.</i> (1985)	Significant reduction ( $p < 0.05$ )	
De Gregorio <i>et al.</i> (1986)	Non significant reduction	
HDL-cholesterol		
Grassi <i>et al.</i> (1985)	Non significant changes	
De Gregorio <i>et al.</i> (1986)	Non significant changes	
Triglycerides		
Grassi <i>et al.</i> (1986)	Non significant reduction	
De Gregorio <i>et al.</i> (1986)	Non significant reduction	
Benetollo <i>et al.</i> (1987)	Non significant changes	Significant reduction ( $p < 0.05$ )

TABLE XII. - Serum lipids in hyperlipidemic osteoarthritic patients treated with fangotherapy

	End of treatment
Total cholesterol	
Grassi <i>et al.</i> (1986)	Significant reduction ( $p < 0.01$ )
De Gregorio <i>et al.</i> (1986)	Significant reduction ( $p < 0.05$ )
Non esterified cholesterol	
Grassi <i>et al.</i> (1986)	Significant reduction ( $p < 0.01$ )
De Gregorio <i>et al.</i> (1986)	Significant reduction ( $p < 0.05$ )
HDL-cholesterol	
De Gregorio <i>et al.</i> (1986)	Significant increase ( $p < 0.05$ )
Triglycerides	
Grassi <i>et al.</i> (1986)	Significant reduction ( $p < 0.05$ )
De Gregorio <i>et al.</i> (1986)	Reduction ( $p < 0.1$ )

## CONCLUSIONS

In many countries there is much talk about a phantomatic return to nature, and so-called natural medicines are revalued. This is not the place for a discussion of this topic but I wish to stress that spa treatment cannot be maintained to be useful because it is *not* part of progress and because it is natural medicine.

As they are conceived of today, spa treatments belong to progress and to modern scientific medicine. This is the sole reason why they continue to be part and parcel of means useful for the promotion of health which the state and private individuals use some of their economic resources.

## RÉFÉRENCES

1. Benetollo P., Cozzi F., Lazzarin P. *et al.* - Effects of fangotherapy in the Euganean on calcitropic hormones, mineral and other metabolic parameters. *Hormones and Metabolism*, 1987, 1, 3, 33-37.
2. Cervini C. - Farmacoterapia e creno-reumatologia. Relaz XLVI Congr Naz Idroclimatologia, Fiuggi 25-27 maggio 1979.
3. De Gregorio G., Restivo S., De Gregorio C. - Analisi delle modificazioni lipidiche da fangoterapia solfureo-saldo-bromo-iodica. *Clin. Term.*, 1986, 39, 3-58.
4. Giavanelli A.L., Ranza R., Pecunia C. - La fangoterapia nell'artrosi vertebrale e del ginocchio. Rilievi clinico-statistici. Centro studi e ricerche delle terme di Boario.
5. Grassi M., Di Lollo G.C., Ranaldo A. *et al.* - Crenoterapia presso le Terme di Cotilia. *Clin. Term.*, 1984, 37, 95-98.
6. Grassi M., Di Lollo G.C., Fraioli A. *et al.* - Assetto lipidico in corso di fangoterapia. *Clin. Term.*, 1985, 38, 23-26.
7. Grassi M., Fraioli A., Di Lollo G.C. *et al.* - Fangoterapia in osteoar-
8. Messina B. - Idrologia medica e ricerca scientifica. *Clin. Term.*, 1983, 38, 51-62.
9. Messina B., Curini R., Fraioli A. *et al.* - Fanghi termali : studio multiparametrico strumentale concernente la maturazione dei fanghi nelle terme di Boario. *Clin. Term.*, 1987, 40, 17-35.
10. Messina B., Fraioli A., Spada S. *et al.* - Terapia termale delle spondilopatie. *Clin. Term.*, 1984, 37, 9-23.
11. Messina B., Grossi F., Grassi M. *et al.* - Aspetti del meccanismo d'azione della fangoterapia. Atti 42 Congresso Nazionale A.M.I.I.T.T.F., Acqui 3-6 giugno 1971.
12. Piergiacomi G., Blasetti P., Cervini C. - Le cure termali nella sindrome fibromialgica. *Clin. Term.*, 1988, 41, 135-137.
13. Ricci G. - Sulla sede di prima esteriorizzazione dolorosa dell'artrosi primaria. Indagine clinico-statistica in ambiente termale. Terme di Acqui e centro cardioreumatologico 1977.

# Réalités et spécificités de la prise en charge des soins thermaux par la Caisse Générale de Sécurité Sociale de la Martinique

C. FALL  
(Pointe-à-Pitre)

## RÉSUMÉ

Le transport des malades en métropole, leur accompagnement, génèrent des charges financières lourdes. Cette constatation suffit à démontrer que l'affectation de la dépense globale à la revitalisation de l'équipement hydrothermal serait un placement de « père de famille ».

**Mots clés :** Antilles – CNAM – Cure thermale.

## SUMMARY

**Realities and specificities of the refunding of spa therapy costs by the Martinique Social Security Organisation.** – The transport of patients to mainland France and of those needed to accompany them leads to high costs. This finding suffices to show that the overall expenditure involved in the revitalisation of hydrothermal facilities will be a wise investment for now and the future.

**Key words:** Caribbean – Social Security – Spa therapy.

Au moment où la Caisse Nationale d'Assurance Maladie lance une campagne « Mieux se soigner ça s'apprend », dans l'hexagone et les DOM, il a paru opportun au Service Social de la CGSS de mener une réflexion sur : la consommation des soins thermaux par les assurés Martiniquais, l'importance des dépenses liées à cette prestation, et enfin les réponses apportées par l'Institution afin de pallier l'absence cruciale de structure thermale dans notre région.

## IMPORTANCE DE LA CURE THERMALE DANS LES SOINS DISPENSÉS AUX ASSURÉS SOCIAUX

Les chiffres sont rapportés dans les tableaux I et II et sur la figure 1.

Tirés à part : Mme C. Fall, Caisse de Sécurité Sociale des Antilles, Centre Administratif, 97110 POINTE-A-PITRE.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

## PARTICIPATION DE LA SÉCURITÉ SOCIALE DANS LES DÉPENSES LIÉES À LA CURE THERMALE

### Prestations légales

#### *Prestation « Cure thermale » :*

Elle se décompose de la manière suivante :  
– frais médicaux (honoraires médicaux + soins thermaux),  
– frais de transport (avion + train).

La Caisse Générale de Sécurité Sociale, selon les cas, prend tout ou partie de ces dépenses en charge.

Dans le cas d'une prise en charge à 100 p. cent : le coût moyen de la prise en charge est de 38 000 F.

La participation de la Caisse se trouve alourdie pour deux raisons, parce que :

– dans de nombreux cas, l'état de santé du curiste rend nécessaire l'hospitalisation,  
– les frais de transport en avion, malgré la concurrence, restent assez élevés à certaines périodes de l'année.

TABLEAU I. - Évolution des transports pour cures thermales

Nbre de transports	1988	1989	1990
Pour tous les soins en Métropole	1 163	1 113	1 300 ≈
Pour les cures thermales (adultes + enfants)	458	526	650 ≈
Pourcentage d'augmentation	+ 13 % ≈	+ 25 %	

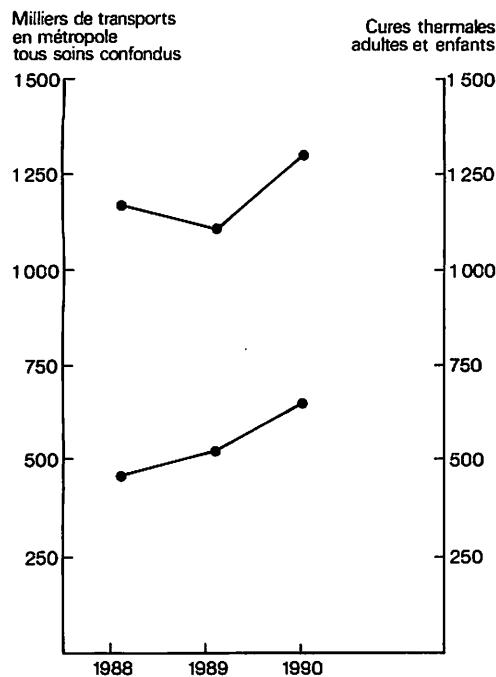


Fig. 1. - Traduction graphique du tableau I.

## Action Sociale

### Bref historique

Aux Antilles, les soins thermaux étaient reconnus et consommés par une partie de la population dite « aisée ».

C'était surtout les adultes qui fréquentaient, en Martinique.

La seule station de l'époque, Absalon, et en Métropole, des villes comme Vichy, Evian, le Mont-Dore, Royat, Châtel-Guyon, pour citer les plus connues.

C'est bien plus tard, grâce au développement de la Sécurité Sociale que de nombreux assurés sociaux ont pu bénéficier de la prestation « cure thermale ».

### Situation de la Martinique face aux autres DOM

Aujourd'hui, deux départements d'Outre-Mer, la Guadeloupe et la Réunion développent dans leur région une activité thermale :

TABLEAU II. - Évolution des dépenses liées à la cure thermale

Montant total des dépenses	1988	1989	Évolution
En assurance maladie	1 499 000 000	1 836 000 000	+ 22,48 %
Pour tous les soins en Métropole	5 567 252	5 554 387	- 0,23 %
Pour les cures	1 430 440	1 759 410	+ 23 %

- pour la Réunion : Cilaos,
- pour la Guadeloupe : Matouba.

Les Martiniquais fréquentent la station guadeloupéenne, mais en grande majorité partent encore en Métropole.

Une réponse spécifique : *l'organisation des convois*.

### Qu'entendons-nous par prise en charge spécifique ?

Il nous a semblé intéressant de distinguer la prise en charge des cures d'adultes de celle des enfants. C'est cette dernière qui nous intéresse tout particulièrement, compte tenu des problèmes qu'elle pose.

*Quelles sont les raisons qui ont amené la CGSS de la Martinique à envisager une prise en charge particulière pour les enfants ?*

Ce sont :

- la progression du nombre d'enfants bénéficiant d'un accord pour une cure thermale,
- l'augmentation du nombre de jeunes curistes de 3 à 6 ans,
- le prix de revient de la cure par rapport au budget des familles,
- l'impossibilité pour les parents d'être disponibles trois semaines, et cela sur trois années consécutives,
- la distance qui sépare le Département des Stations de cures de l'hexagone.

*Les chiffres sont rapportés dans le tableau III.*

Ainsi, afin de faciliter l'accès aux soins thermaux d'un plus grand nombre d'enfants, le Service Social a-t-il mis en place un dispositif d'accompagnement des familles.

Cette action comporte deux volets : l'information, l'organisation des convois et la mise en place du circuit « cures thermales ».

TABLEAU III. - Évolution du nombre de curistes bénéficiant d'un convoi sanitaire

	1988	1989	1990
Nbre de curistes	162	191	230
Évolution %	Base 100	+ 17,90 %	+ 20,42 %

## Information

Elle s'effectue en deux étapes :

- au cours d'entretiens individuels, les Assistantes Sociales aident les parents à effectuer les différentes démarches pour réaliser une cure thermale : constitution du dossier administratif, avis du Contrôle Médical, constitution du dossier pour l'établissement thermal ;
- au cours de réunions de parents qui sont organisées à leur intention et à celles des accompagnateurs.

Au cours de ces réunions qui regroupent chacune une quarantaine de parents environ, l'accent est mis sur :

- la réalité de la cure,
- la situation géographique de la station thermale (grâce à des vidéogrammes fournis par les maisons d'enfants),
- les soins,
- l'hébergement,
- la surveillance,
- le rythme de vie dans les maisons d'enfants,
- l'hygiène de vie de l'enfant.

## Organisation du circuit « Cures thermales »

Le Service Social se charge de :

- dès décembre, contacter les maisons d'enfants pour les calendriers de cures. Le Mont-Dore, La Bourboule, St-Honoré-Les-Bains, Luchon, La Roche-Posay sont les plus fréquentées. Les stations sont choisies en fonction des affections les plus importantes : maladies des voies respiratoires (asthme, problèmes ORL), problèmes dermatologiques,
- prendre contact avec les agences de voyage pour la réservation des places d'avion et de car,
- établir les listes d'enfants par maisons,
- désigner les accompagnateurs (1 pour 5 enfants),
- réunir les familles et les convoyeurs pour une mise au point avant la cure,
- accompagner les groupes lors des départs vers les stations (de mai à début août).

## DIFFICULTÉS

Pour les familles, elles sont de plusieurs ordres :

– **au plan financier** : la prise en charge du ticket modérateur reste très élevée. De nombreux assurés ont comme seule ressource les Prestations Familiales. Une famille doit prévoir en moyenne 4 500 F pour le départ d'un enfant,

– **au plan psychologique** : les parents ont encore du mal à se séparer de leur enfant et perturbent quelquefois son séjour. Par ailleurs, ils sont souvent désemparés face à la complexité de certaines démarches.

TABLEAU IV. – Évolution des aides financières et prestations

	1988	1989	1990
Prestations supplémentaires	850 000	850 000	830 000
Aides financières		191 600	200 000

Pour le Service Social, les difficultés sont générées principalement par l'éloignement des stations thermales.

La Caisse Générale doit s'appliquer à faire une gestion à distance « sans satellite » et assumer une totale dépendance aux horaires des compagnies aériennes et aux dates de séjour des maisons d'enfants.

C'est pourquoi chaque année la CGSS déploie des moyens importants afin que les enfants bénéficient de conditions optimales tant pour le voyage que pour le séjour en établissement. Elle multiplie les contacts, les visites, afin de normaliser le circuit qu'elle met en place.

Le trajet, de Fort-de-France aux stations, bien que simplifié, reste long (8 heures de vol, et 7 à 8 heures de transport en car à partir de Paris).

Grâce à cette organisation :

– un plus grand nombre d'enfants peut accéder aux soins thermaux et particulièrement ceux de milieux défavorisés. Des aides financières complémentaires sont attribuées aux familles les plus démunies.

– La CGSS a pu diminuer en partie les dépenses liées à la Prestation « Cure thermale » pour les jeunes curistes, chaque parent n'étant plus contraint d'accompagner lui-même son enfant.

Outre les prestations légales, la CGSS attribue des prestations supplémentaires et aides financières aux assurés qui ont de faibles revenus (tableau IV).

## CONCLUSION

*Quelle alternative pour nos curistes et les organismes de prise en charge ?*

Le développement du thermalisme dans notre région ! Pourquoi ?

– Il supprimerait bon nombre d'inconvénients liés à l'éloignement des stations thermales (voyage, suivi des enfants, complexité de la gestion administrative).

– Il permettrait une meilleure adaptation des soins à l'environnement immédiat de l'enfant.

– Il favoriserait la diminution des dépenses tant des familles que des organismes de prise en charge.

– Enfin, il apporterait à l'un des secteurs de notre économie un nouveau souffle grâce à la création d'emplois et augmenterait le rayonnement de notre île dans le bassin caribéen et au plan international.

# Les bonnes pratiques d'exploitation des eaux minérales dans un établissement thermal

G. POPOFF  
(Paris)

## RÉSUMÉ

L'eau minérale est un fluide original qui peut subir de multiples altérations susceptibles de lui faire perdre ses propriétés thérapeutiques ou de favoriser des épidémies. Les risques sanitaires encourus par les curistes peuvent être réduits en développant une démarche de qualité appliquée au thermalisme et axée sur deux idées forces : – la gestion de la qualité des eaux minérales ; – les bonnes pratiques d'exploitation des eaux dans l'établissement.

**Mots clés :** Eau minérale - Altérations physico-chimiques - Adduction - Bonnes pratiques - Hygiène - Locaux.

## SUMMARY

**Good practices of mineral water exploitation in therapeutic establishment.** – Mineral water may be altered during exploitation in therapeutic establishment. Patients using waters may run some risks which included epidemic. It's possible to reduce them significantly by introducing a thought process of quality control based on two principles : - water quality control ; – and good practice of exploitation of water in such therapeutic establishment.

**Key words :** Mineral water - Physical-chemical changes - Supply - Good practices - Hygiene - Premises.

L'eau minérale se distingue des autres eaux par son originalité :

– physicochimique, due à la variété, la qualité et la quantité de ses espèces dissoutes,  
– thérapeutique, grâce à son rôle dans l'arsenal reconnu par l'Académie Nationale de Médecine.

Une bonne connaissance de ses particularités et des phénomènes physicochimiques en jeu permet d'envisager une exploitation de l'eau dans de bonnes conditions. En effet, l'eau minérale peut subir tout au long de son parcours dans l'établissement thermal une série de modifications accidentelles préjudiciables à ses qualités physicochimiques ou microbiologiques et donc thérapeutiques.

C'est pourquoi, en fonction de l'eau et de son utilisation, certaines règles de conception des installations ou d'entretien se révèlent vite indispensables ; elles pourraient être regroupées dans ce que l'on dénommerait « les bonnes pratiques d'exploitation des eaux minérales dans un établissement thermal ».

## EAU MINÉRALE

Les eaux minérales françaises présentent la particularité d'offrir des compositions physicochimiques très variées ; aussi, a-t-il semblé nécessaire de procéder à une classification en fonction de leur stabilité physicochimique et de leur comportement au contact des matériaux.

A l'exception de certaines eaux minérales froides et peu minéralisées dont le comportement s'apparente davantage à celui des eaux potables, toutes les autres présentent à des degrés divers, des paramètres suscep-

Laboratoire National de la Santé, Département des études hydrologiques et thermales, 1, rue Lacretelle, 75015 PARIS.

Tirés à part : G. Popoff, adresse ci-dessus.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

tibles d'aggraver les phénomènes d'altération microbiologiques et/ou physicochimiques ou de corrosion.

Ainsi, par rapport aux eaux de consommation humaine, les paramètres qui peuvent avoir une influence sur les qualités de l'eau ou du matériau sont :

- la température,
- le pH,
- les ions : Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, HS, Fe, Mn, Si etc ...
- les gaz : H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>,
- les dépôts solides ou les phases solides en suspension,
- le microbisme spécifique des eaux minérales et le développement de plancton thermal.

Les cinq catégories d'eaux « à risque » sont les suivantes :

- sulfurées,
- sulfatées,
- chlorurées,
- carbogazeuses,
- faiblement minéralisées.

## Eaux sulfurées

Les eaux minérales sulfurées présentent la particularité de posséder un élément, *le soufre*, existant sous plusieurs états d'oxydation.

Depuis la forme la plus réduite jusqu'à la forme oxydée, on rencontre respectivement les espèces suivantes [10] :

- les sulfures (H<sub>2</sub>S, SH<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>, RS<sup>-</sup> où R est un radical organique),
- les polysulfures (HS<sub>n</sub><sup>-</sup>, S<sub>n</sub><sup>2-</sup> avec n > 1),
- le soufre élémentaire (S<sub>8</sub>),
- les thiosulfates (S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>),
- les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

La présence d'espèces réduites confère à ces eaux un potentiel redox fortement négatif qui favorise les réactions d'oxydoréduction. Il faut donc s'attendre à ce que les eaux sulfurées soient extrêmement réactives. En effet, *dans certaines conditions et sous l'action de l'oxygène de l'air*, les sulfures peuvent se transformer soit en soufre élémentaire insoluble (qui apparaît alors sous forme de particules jaunes), soit en sulfates solubles.

De même, en présence de métaux comme le fer, le cuivre, le zinc ou le plomb, les sulfures se combinent pour former des sulfures métalliques insolubles caractérisés par de fines particules noires.

En présence de certains composés organiques, les sulfures peuvent également former des sulfures organiques que l'on appelle mercaptans qui sont bien souvent très malodorants.

Les teneurs en sulfures (exprimées sous la forme de  $\Sigma [H_2S] = [H_2S] + [HS^-] + [S^{2-}]$  en millimole/litre – mM/l) – varient entre 0,01 mM/l (0,3 mg/l) pour les eaux les plus faiblement sulfurées et 4,3 mM/l (150 mg/l) pour les plus riches. Des teneurs infé-

rieures à 0,01 mM/l ne sont pas caractéristiques d'une eau sulfurée, ces traces correspondant plutôt à une légère réduction microbiologique accidentelle des sulfates en sulfures.

La répartition entre les différentes espèces de sulfures dépend directement du pH de l'eau ; en milieu alcalin, les espèces [HS<sup>-</sup>] et [S<sup>2-</sup>] prédominent sur l'espèce [H<sub>2</sub>S] tandis qu'en milieu neutre [H<sub>2</sub>S] et [HS<sup>-</sup>] sont prépondérants.

Il existe deux catégories d'eaux sulfurées :

### Eaux sulfurées sodiques, de type « pyrénéen »

Ce sont des eaux faiblement minéralisées (extrait sec inférieur à 400 mg/l), chaudes (30 ≤ r ≤ 65°C), au pH alcalin (8 ≤ pH ≤ 10) et contenant des sulfures (0,05 ≤  $\Sigma [H_2S] \leq 0,4$  mM/l), du sodium (cation prépondérant), de la silice et du fluor en quantité souvent importante.

Leur pH alcalin favorise la prépondérance de la forme (HS<sup>-</sup>) et son oxydation en sulfates.

Dans cette catégorie d'eau, on peut classer les eaux des Pyrénées de Luchon, Cauterets, Amélie-les-Bains...

### Eaux sulfurées calciques

Les eaux sulfurées calciques font partie de la famille des eaux contenant essentiellement des sulfures associés à du calcium et parfois du sodium en quantité moindre.

S'il existe une grande diversité dans la minéralisation (quelques milligrammes par litre à plusieurs grammes) et la température de ce type d'eau, elles présentent toutefois comme point commun un pH neutre compris en 7 et 8 favorable à la libération d'hydrogène sulfuré [H<sub>2</sub>S]. Le calcium reste quant à lui le cation prépondérant.

Aux équilibres des sulfures viennent se superposer l'équilibre calco-carbonique. Les mécanismes d'oxydation de ces eaux apparaissent ainsi plus complexes et aboutissent à la formation d'autres espèces en plus des sulfates comme le soufre élémentaire ou le carbonate de calcium tous deux insolubles.

Exemple : en Guadeloupe, la source « Bain chaud les eaux vives » et en métropole celles d'Aix-les-Bains.

#### Problèmes rencontrés par ce type d'eau :

Ce sont essentiellement des problèmes de conception [11] :

- corrosion des matériaux métalliques,
- interaction entre les sulfures et certains composés organiques du matériau aboutissant à la formation de mercaptans,
- attaque et désagrégation du ciment,
- risques liés à l'accumulation de l'H<sub>2</sub>S,
- perte de H<sub>2</sub>S par dégazage naturel ou oxydation,
- accumulation de produits de corrosion,
- développement de bactéries sulfato-réductrices ou de plancton thermal.

## Eaux sulfatées

Les eaux sulfatées sont des eaux qui contiennent essentiellement des ions sulfate  $[SO_4^{2-}]$ . Cette minéralisation résulte d'un lessivage du gypse ou d'anhydrite qui peuvent être inclus dans des terrains calcaires et magnésiens. Selon les cations associés, les eaux seront dites sulfatées calciques lorsque leur teneur en demeure élevée par rapport au sodium, sulfatées sodiques (rares en France) ou sulfatées mixtes lorsque leur minéralisation résulte d'un apport de sulfate de sodium et de chlorure. Généralement, le magnésium est associé en quantité notable mais inférieure à celle du calcium. La solubilité du sulfate de calcium est faible et varie suivant la température (1,9 g/l à 0°C, 2,14 à 38°C et 1,75 g/l à 90°C) ce qui limite d'autant sa concentration dans l'eau.

### Stabilité de ces eaux

Le diagramme de stabilité des eaux calciques passe par un maximum vers 38°C. Plus on s'écarte de cette valeur et plus les risques de précipitation du sulfate de calcium liés à son instabilité en solution s'accroissent.

### Problèmes rencontrés par ce type d'eau

- attaque des ciments ordinaires,
- dépôts liés essentiellement à la précipitation de sulfate de calcium suite aux variations de température,
- possibilité de réduction microbiologique des sulfates en sulfures dans certaines parties des installations et problèmes de corrosions liés.

## Eaux chlorurées sodiques

Les eaux chlorurées sodiques sont des eaux qui contiennent un ion dominant, les chlorures  $[Cl^-]$ , et qui peuvent être classiquement divisées en deux catégories ; *les unes sont dites sodiques fortes et froides, les autres sodiques faibles et chaudes*. Les premières proviennent de la dissolution de sel gemme accumulé dans d'anciens dépôts lagunaires. Leur minéralisation peut être voisine de la saturation soit 300 g/l. Les secondes ont une minéralisation totale beaucoup plus faible (quelques g/l). Ces eaux très corrosives vis-à-vis des matériaux métalliques et notamment en présence d'oxygène.

## Eaux ferrugineuses

Ce sont des eaux qui contiennent un élément soluble, le fer, présent sous forme  $[Fe^{2+}]$  à des teneurs variables entre 0,5 et 20 mg/l. Cet élément se rencontre principalement dans les eaux souterraines pauvres en oxygène et se trouve souvent associé à du manganèse soluble sous la forme  $[Mn^{2+}]$  mais à des teneurs moindres. Sous l'action de l'oxygène prove-

nant d'une aération de l'eau au cours de son transport ou stockage, ces éléments s'oxydent en  $[Fe^{3+}]$  ou en  $[Mn^{4+}]$  et précipitent sous forme d'hydroxydes ou de carbonates.

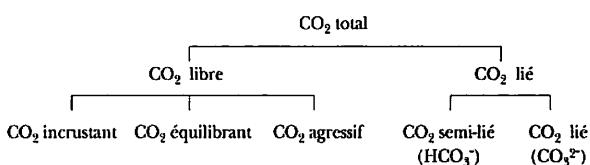
### Problèmes rencontrés par ce type d'eau :

L'accumulation de dépôts d'hydroxydes ou de carbonates de fer peut produire colmatage ou/et corrosion sous dépôts.

## Eaux carbogazeuses

Toutes les eaux souterraines contiennent des ions hydrogénocarbonates (bicarbonates)  $[HCO_3^-]$  et du  $CO_2$  libre dissous en quantité variable. Nous réservons l'appellation « eau carbogazeuse » aux eaux à  $CO_2$  libre en excès, ou à teneurs particulièrement élevées en  $[HCO_3^-]$ , c'est à dire largement supérieure à la quantité dissoute d'environ 300 mg/l d'une eau simplement en équilibre après passage sur du calcaire. Ces eaux contiennent en général plus de 1 g/l de  $[HCO_3^-]$  bien qu'aucune limite précise ne puisse être clairement définie.

Pour évaluer la quantité réelle de  $CO_2$  présent dans un échantillon, il faut différencier toutes les formes du  $CO_2$  que l'on dose. Elles se définissent de la façon suivante :



On appelle le  $CO_2$  équilibrant, la quantité de  $CO_2$  libre nécessaire pour maintenir les hydrogénocarbonates en solution, c'est-à-dire, empêcher leur transformation en carbonates et leur précipitation. Mais le  $CO_2$  est dit agressif lorsque l'eau contient du  $CO_2$  libre en quantité supérieure à celle nécessaire au maintien de l'hydrogénocarbonate en solution. Il peut alors dissoudre du calcaire.

Par contre, le  $CO_2$  est appelé incrustant si le  $CO_2$  libre est inférieur au  $CO_2$  équilibrant. Il y aura ainsi précipitation des carbonates. Quant au  $CO_2$  lié, on considère le  $CO_2$  semi-lié qui apparaît sous la forme d'hydrogénocarbonate  $[HCO_3^-]$  et le  $CO_2$  lié sous la forme de carbonate  $[CO_3^{2-}]$ .

Les pH de ces eaux sont systématiquement acides, et variables en fonction des pertes en  $CO_2$  au cours du dégazage.

### Comportement des eaux carbogazeuses en exploitation

La présence de  $CO_2$  dissous et la complexité de cet équilibre carbonique rendent l'exploitation des eaux carbogazeuses très délicate.

Le problème majeur réside dans la tendance souvent très marquée de précipiter des carbonates (de Ca ou de Fe) au moindre dégazage ou augmentation de température. Cependant, de nombreux autres paramètres doivent être pris en compte pour dimensionner de telles exploitations :

- corrosion de parties métalliques dans le cas d'eaux sous-saturées en carbonates,
- corrosion de parties métalliques sous dépôts non adhérents,
- corrosion de parties métalliques dans la phase gazeuse ( $\text{CO}_2$  humide),
- écoulements diphasiques avec les pertes de charges et les coups de bâlier qui leur sont caractéristiques,
- difficultés d'instrumentation liée aux dépôts et au milieu diphasique,
- complexité des systèmes de pompage.

Par contre, l'exploitation des eaux carbogazeuses présente deux particularités qui se révèlent à l'usage des avantages :

- le  $\text{CO}_2$  inhibe la prolifération des germes aérobies stricts,
- un effet de gaz-lift naturel sur les puits non stimulés, qui permet d'obtenir des débits supérieurs au potentiels hydraulique réel.

## Eaux faiblement minéralisées

On classera parmi les eaux faiblement minéralisées les eaux ayant un résidu sec inférieur à 500 mg/l et ne présentant pas d'élément prédominant permettant de les classer dans les grandes familles précédentes. Hormis l'effet température qui demeure prépondérant sur l'altération du matériau, les problèmes pouvant survenir sont dus à quelques ions existant déjà cités. La très faible minéralisation (quelques mg/l) conduit ces eaux à être agressives vis-à-vis des matériaux en contact (ciments, aciers).

## Plancton thermal

Il est considéré essentiellement d'algues et de bactéries [2].

Les algues sont représentées par les Diatomées (= Baccillariophycées), les Chlorophycées et les Cyanophycées (= Cyanobactéries).

On peut citer parmi les Diatomées le genre *Nitzschia*, parmi les Chlorophycées, les genres *Scenedesmus*, *Hormidium*, *Chlamydomonas*, parmi les Cyanophycées, les genres *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Mastigocladus*...

Les bactéries comprennent des germes oxydants les espèces réduites du soufre avec les genres *Beggiatoa*, *Thiotricha*... et des germes réducteurs du soufre comme l'espèce *Clostridium Cauteretsensis*.

Le plancton thermal peut être utilisé soit en nature soit par l'intermédiaire des boues thermales car il joue un rôle important dans leur maturation.

*Problèmes rencontrés par ce type d'eau :*

- développement rapide de plancton dans les canalisations dans certaines conditions physiques et physicochimiques pouvant amener à des colmatages.

## MODIFICATIONS DE L'EAU MINÉRALE

Elles peuvent être de trois ordres

### Modifications naturelles

Ces modifications sont liées au type de l'eau et surviennent au cours des pratiques thermales, essentiellement dans les piscines.

- *les causes* : refroidissement, dégazage, mise en contact avec l'air, brassage...

– *le résultat* : précipitation du carbonate de calcium, d'hydroxyde ferrique, de silice, oxydation des sulfures en sulfates ou en soufre colloïdal.

Ces transformations sont inévitables, faisant partie (?) du traitement.

### Modifications intentionnelles

Elles résultent de l'action du corps médical pour déplacer les équilibres chimiques vers la formation d'espèces pharmacologiquement actives :

- aérosols,
- fabrication de Barégine, etc.
- *vaporarium*.

ou pour conjuguer les propriétés de l'eau avec celles des boues (boues thermales)

Ces modifications peuvent résulter de mélanges d'eau (eau fortement sulfurée avec une eau légère).

Elles peuvent également résulter d'opérations de traitement de l'eau :

- réchauffage,
- refroidissement,
- déferrisation.

### Modifications accidentnelles

Elles peuvent être de deux natures différentes :

– *physicochimiques* entraînant des modifications plus ou moins profondes de la composition chimique de l'eau selon son degré d'instabilité chimique [11].

– *microbiologiques* révélées par la présence de germes témoins de contamination fécale, de germes pathogènes opportunistes ou même saprophytes dont l'origine peut être soit extérieure aux thermes (pollution du gisement) soit intérieure aux thermes par suite d'une contamination humaine liée aux pratiques ther-

males et d'une « remontée » de germes dans les canalisations à partir des appareils thermaux.

*Les causes* sont multiples et variées :

- mauvaise conception des installations de transport ou de stockage,
- utilisation de matériaux inadaptés à la chimie de l'eau,
- mauvaise gestion de la ressource hydrominérale, pompages intempestifs,
- vétusté des installations.

*Le résultat* : altération plus ou moins complète de l'eau par suite de précipités d'oxydes métalliques ou de soufre colloïdal entraînant une corrosion intensive.

## BONNES PRATIQUES D'EXPLOITATION DES EAUX MINÉRALES

L'altération qu'une eau minérale peut subir durant son parcours entre le griffon et les appareils thermaux se révèle préjudiciable à ses qualités physicochimiques (donc thérapeutiques) et microbiologiques. Il peut en résulter pour les curistes des risques sanitaires réels comme l'ont montré des exemples récents d'épidémies de pneumonies atypiques ou de légionelloses [1, 5, 6].

D'autres paramètres concernant la salubrité ou l'hygiène générale de l'établissement comme l'aération, l'état des locaux et leur entretien, le nombre de curistes fréquentant à un instant donné l'établissement sont également des facteurs aggravant les risques sanitaires.

Pour éviter que de tels incidents puissent se produire, il faut développer un service « *d'assurance qualité* » adapté aux contraintes particulières et l'exploitation thermale.

Bâtie sur deux idées maîtresses – la *gestion de la qualité des eaux et les bonnes pratiques d'exploitation et d'hygiène* dans un établissement thermal – cette notion d'assurance qualité dans le thermalisme serait l'aboutissement des quatre démarches suivantes : analyse des risques, maîtrise des points critiques, surveillance de l'efficacité des mesures ponctuelles et enfin bilan de l'efficacité des mesures d'hygiène [14].

### Analyse des risques

L'altération des qualités physicochimiques et microbiologiques de l'eau peut induire des risques sanitaires individuels ou collectifs.

Deux établissements thermaux furent récemment à l'origine d'épidémies : – pneumonies atypiques et méningites purulentes provoquant l'hospitalisation de curistes et un décès [5, 6] suivie la saison suivante de cas de légionellose [1].

Quant au risque individuel (hors épidémie), il est beaucoup plus difficile à apprécier tant il est vrai que les potentialités sont nombreuses ; la détection de ces cas demeure plus délicate, voire aléatoire. Il est bien entendu quasiment impossible de dresser une liste exhaustive des cas possibles : tout au plus on peut estimer que la présence de certains germes pathogènes ou opportunistes à des concentrations élevées dans certaines parties de l'établissement demeure un indicateur utile.

Ces risques peuvent être variables suivant l'état physique des personnes admises dans l'établissement et pour une même catégorie de personnes sont directement liés à la fréquentation instantanée. On peut ainsi remarquer que les récentes épidémies n'ont pas concerné le personnel soignant de l'établissement pourtant en contact régulier avec certains germes de l'eau. Son jeune âge et une relative immunité mise en évidence par la sérologie [1] peuvent expliquer cette protection.

Le type de soins – individuel ou collectif – et les modes d'administration - interne ou externe – sont des facteurs déterminants dans l'évaluation des risques et la transmission des germes.

### Points critiques dans un établissement thermal et leur maîtrise

Les points critiques dans un établissement thermal peuvent être classés dans trois catégories distinctes mais se recoupant partiellement :

### LOCAUX RECEVANT LE PUBLIC

Ces locaux présentent la particularité de recevoir tous les publics : personnels, curistes. Il s'agit principalement des couloirs et halls où les risques dépendent étroitement de l'architecture et la salubrité des bâtiments (tableau I) :

– l'état général de la maçonnerie, l'agencement des salles, la nature des matériaux des sols, murs et plafonds, etc.

– la conception générale des installations annexes aux soins comme la climatisation, l'aération, l'éclairage... qui sont communes aux locaux de soins. Ce sont des points qui se sont révélés les plus sensibles dans les dernières épidémies, de grossières erreurs ayant été commises que le simple bon sens aurait d'ailleurs pu éviter,

– les circuits personnel de service/curistes/personnel d'entretien...

– l'entretien général des locaux...

Il n'y a pas de règle technique particulière applicable à ces locaux compte tenu de leur absence de spécificité mais seulement celles s'inspirant du milieu hospitalier.

TABLEAU I. – Locaux et installations générales

Points critiques	Risques et causes de contamination	Moyens de contrôle	Prévention-remèdes
<b>Locaux</b>	Pollution des locaux par fréquentation humaine (personnel ou curistes)	Pollution des paramètres microbiologiques (germes témoins de contamination fécale, pathogènes et parasites) sur – sols – murs – atmosphère ambiante	Conception en unités de soins, séparation des locaux administratifs et techniques Désinfection systématique et régulière des locaux
<b>Architecture :</b> – locaux recevant le public – couloirs – halls – croisement des circuits secs et humides – vestiaires – circuit linge sale – revêtements sols, murs, plafonds	Mauvaise séparation des locaux recevant le public et locaux de soins  Pollution par absence de nettoyage Mauvaise conception laissant des traces d'humidité venant de précédents curistes  Apport de germes par les curistes chaussés Entretien l'humidité dans les locaux secs  Apport de germes par linge de corps sale Dissémination dans tout la bâtiment  Les revêtements rugueux favorisent la fixation et prolifération des colonies de bactéries d'où difficultés de nettoyage et désinfection		Separation des couloirs « secs » et « humides » Pas de croisements des zones sèches et humides  Désinfection du ligne après toute utilisation Évacuation du linge sale par gaine régulièrement désinfectée  Revêtements murs/sols sans aspérité, lisses et facilement nettoyables Aération efficace
<b>Installations techniques générales</b> – Ventilation – Climatisation, chauffage – Éclairage	Propagation des germes véhiculés par les brouillards ... si les buses d'aspiration et de refoulement sont trop proches Difficultés, voire impossibilité de désinfecter les gaines et filtres Difficultés de nettoyage dans des locaux mal éclairés	Contrôles bactériologiques sur – atmosphère ambiante – gaines d'aspiration – filtres	Désinfection des locaux, des gaines d'aspiration et des filtres  Augmenter la puissance de l'éclairage

## EAU MINÉRALE ET SES INSTALLATIONS DE TRANSPORT

L'eau minérale est le point commun à la quasi-totalité des soins médicaux. Elle doit donc être traitée dans un chapitre particulier puisqu'elle représente à la fois le « médicament thermal » de base dans les soins où la qualité devrait être irréprochable mais aussi le vecteur potentiel des germes par l'intermédiaire de l'eau ou des vapeurs, brouillards, aérosols...

Une parfaite connaissance de la *composition physico-chimique* de l'eau minérale et de ses *équilibres* permet alors de comprendre et d'anticiper son comportement dans certaines circonstances.

### Qualité physicochimique de l'eau

Rappelons que certaines eaux comme les eaux sulfureuses, ferrugineuses, carbogazeuses ou sulfatées calcaires sont plus instables que d'autres, de par leurs compositions physicochimiques.

La température est un facteur aggravant sur le plan physicochimique en accélérant les cinétiques de réaction et sur le plan microbiologique pour des températures comprises entre 15 et 50°C en favorisant les développements microbiens.

Il semble que certaines eaux comme les eaux sulfureuses soient plus souvent propices à des développements

bactériens que d'autres. C'est ainsi que la présence de légionnelles semblent plus fréquente dans les installations thermales utilisant ce type d'eau que dans des eaux chlorurées sodiques. De même, les *Pseudomonas aeruginosa* et les légionnelles auront plus de facilité pour se développer dans l'eau tiède.

### Altérations de l'eau minérale dans les installations

Elles peuvent être de deux natures différentes :

– *physicochimiques* entraînant des modifications plus ou moins profondes de la composition chimique de l'eau selon son degré d'instabilité chimique [10] ;

– *microbiologiques*. Les risques sanitaires sont différents et ne revêtent pas le même caractère de gravité ; dans le premier cas, la modification de la minéralisation ne met en cause que l'efficacité de la cure. Dans le second cas, la présence de germes pathogènes ou opportunistes dans l'eau minérale peut déclencher des infections plus ou moins sévères suivant le sujet. Cela ne signifie pas qu'il faille pour autant négliger les altérations physicochimiques devant la microbiologie ; bien souvent elles peuvent indirectement amplifier le phénomène.

### Points critiques de l'installation de transport de l'eau

Il faut donc identifier tout le parcours de l'eau depuis le gisement jusqu'aux différents postes de soins et dresser une liste aussi exhaustive que possible des

TABLEAU II. – Ressources hydrominérale et installations de transport de l'eau minérale

Points critiques	Risques et causes de contamination	Moyens de contrôle	Prévention-remèdes
<i>Ressource hydrominérale</i>	Pollution par rupture de l'équilibre d'exploitation, par siphonnage  Pollution accidentelle ou par une activité industrielle ou agricole (pesticides, herbicides ... )	Contrôle du débit et des paramètres physicochimiques et bactériologiques (germes témoins de contamination fécale).  Contrôle pollution des eaux superficielles environnantes	Ne pas dépasser les débits d'exploitation autorisés, Périmètre sanitaire immédiat et rapproché, Maîtrise du foncier
<i>Ouvrages de captage pompage stockage</i>	Pollution suite au vieillissement, détérioration, entartrage, accident  Vieillissement des pompes, siphonnage  Pollution chimique et bactériologique par défaut d'étanchéité, vieillissement, dégradation de l'ouvrage ou des revêtements Pollution par événements Entartrage Persistance de la pollution microbienne	Contrôle du débit et des paramètres physicochimiques et bactériologiques  Contrôle du filtre des événements, Contrôles à l'entrée et la sortie du réservoir Contrôle pollution de l'eau par revêtement du réservoir	Surveillance du captage Entretien et désinfection régulière  Conception du réservoir Etanchéité à l'eau Matériaux adaptés à l'eau Evenets munis de filtres ; disconnection systématique Entretien et désinfection régulière
<i>Canalisations de transport</i>	Pollution chimique ou bactériologique par suite de détérioration ou rupture du réseau Pollution de l'eau par le matériau, Corrosion, entartrage, fuites d'eau Contamination microbienne difficile à éliminer, remontée des germes dans réseau	Contrôle des paramètres physicochimiques et bactériologiques à divers points névralgiques du réseau	Conception du réseau Pas de maillage ni de boucle de retour du réseau Disconnection systématique avant les postes de soins (piscines) Matériaux adaptés à la nature de l'eau Désinfecter régulièrement par système automatique avec eau de ville chlorée
<i>Traitement thermique réchauffage refroidissement</i>	Risques identiques aux canalisations de transport mais aggravés par les chocs thermiques	Contrôles entrée/sortie des échangeurs thermiques	
<i>Robinetterie</i>	Comme pour les canalisations de transport Persistance de la contamination dans les joints – Remontée des germes par les joints	Contrôles robinetterie	Pas de joint en caoutchouc mais robinets $\frac{1}{4}$ tour à bille inox

zones fragiles où peuvent se produire des altérations (tableau II).

En règle générale, toutes les zones susceptibles de permettre la prolifération des germes dans une installation de transport de l'eau (canalisations, pompes, ouvrages de stockage, échangeurs thermiques, robinetterie etc...) sont classées à « *haut risque* » et devront, par conséquent, faire l'objet d'une vigilance particulière en attendant leur modification.

Ce sont des parties d'installations ou de canalisations comportant :

- des mises à l'air intempestives,
- des boucles de retour sur le réseau avec parfois retour dans le réservoir de stockage,
- une stagnation de l'eau dans des zones mortes,
- un maillage des réseaux et absence de discontinuité,
- une vétusté des installations entraînant corrosion ou entartrage des canalisations, dépôt constituant un support idéal pour les colonies bactériennes.

Lorsque tous ces points sont répertoriés et les risques cernés, il faut ensuite leur attribuer un ordre d'importance et des mesures de prévention adéquates.

Certains de ces points sont beaucoup plus sensibles par leur fonction que par leur conception ; c'est le cas

particulier des locaux de soins collectifs et notamment des piscines thermales que nous évoquerons dans le chapitre réservé aux types de soins.

#### *Maîtrise de ces points critiques*

En considérant la nature de l'eau et de ses équilibres physicochimiques, et en sélectionnant les matériaux adaptés à la situation, il faut concevoir une installation la plus rationnelle possible où toutes les causes d'altération physicochimiques et de prolifération bactérienne sont supprimées :

- installations de stockage à l'abri de l'air,
- matériaux adaptés à la nature de l'eau [13],
- séparation des réseaux, suppression des maillages, pose de disconnecteurs en amont des points sensibles comme les piscines,
- dimensionnement adéquat pour éviter les zones mortes,
- système de désinfection automatique des réseaux avec l'eau de ville chlorée,
- robinetterie et appareils thermaux choisis en fonction de ces critères.

L'application de ces principes, de même que des efforts permanents de nettoyage et désinfection des

TABLEAU III. – Locaux de soins

Points critiques	Risques et causes de contamination	Moyens de contrôle	Prévention-remèdes
<i>Locaux de soins</i>	Pollution des appareils par contact humain ou promiscuité (personnel ou curistes)	Contrôle des paramètres microbiologiques (germes témoins de contamination fécale, pathogènes) sur : – embouts – jet d'eau – gaines d'aération	Unités de soins Revêtements murs/sols sans aspérité, lisses Désinfection systématique et régulière des locaux et du matériel à l'eau de ville chlorée
Traitements externes			
– douches au jet	Pollution des pommes de douche, embouts par absence de désinfection ou automatisme mal conçu		
– douches baveuses circulaire			
– bains individuels	Pollution par absence de nettoyage, Mauvaise conception laissant des volumes d'eau polluée par le précédent curiste	– eau du bain avant le début du soin	Baignoire normalisée
– étuves, <i>vaporarium</i>	Apport de germes par curistes	– atmosphère ambiante	Désinfection après toute utilisation
– piscines thermales	Apport de nombreux pathogènes par les curistes – Risque maximum Absence de vidange régulière, mauvais nettoyage, fréquentation trop importante	– eau piscine pendant les soins et suivant le taux de fréquentation – plages, pédiluves, douches	Conception de la piscine Hydraulicité Vidange et nettoyage quotidien, renouvellement suffisant, hygiène individuelle, traitement adapté ? Pas de réutilisation sans maturation ou stérilisation.
– boues thermales	Pollution tellurique et contact avec peau Risque maximum si réutilisation	– boues après maturation et avant usage si recyclage	
Traitements internes			
– voies respiratoires, PMC	Pollution des embouts, pulvérisateurs ... par mauvaise désinfection du matériel, ou remontée des germes par réseau	Idem ci-dessus	Embouts individuels systématiquement désinfectés
– étuves, <i>vaporarium</i>	Inhalation des germes véhiculés par les brouillards, vapeur et humidité des gaz	– atmosphère ambiante et gaines d'aération	Désinfection de l'air et des gaines d'aération
– cures de boissons	Pollution des becs de la buvette par le contact humain et remontée dans le réseau	– eau – gobelets si réutilisés	Circulation d'eau Désinfection automatique à l'eau de ville chlorée

installations améliorent considérablement la qualité des eaux mais ne sauraient cependant garantir l'exploitant contre toute épidémie.

## LOCAUX DE SOINS ET LE PUBLIC

Ils représentent les points les plus sensibles de l'établissement par suite de l'action conjuguée de plusieurs facteurs ayant chacun une action spécifique :

– *apports massifs de germes* par suite de la présence d'un grand nombre de curistes (jusqu'à 5 000/jour dans certains cas) dans un espace restreint et clos,

– *foyers d'échange des germes* que sont les locaux de soins par la disposition des salles et la nature des soins qui y sont délivrés (internes, externes, individuels ou collectifs) et les appareils thermaux,

– *vecteurs de germes* : atmosphère ambiante de l'établissement (humidité, air, le cas échéant les boues...)

– *disperseurs de germes* dans le bâtiment que sont les circuits de ventilation et de climatisation.

Toutes les conditions sont donc réunies pour qu'il y ait fixation, développement puis dissémination de certains germes pathogènes dans tout l'établissement (tableau III).

La contamination des réseaux d'eau minérale propre peut également se faire dans les salles de soins individuels au niveau des appareils thermaux par remontée des germes. Ceci est particulièrement vrai pour les pommes de douches ou les lances des jets.

En ce qui concerne les salles d'aérosols, les berthollets ou *vaporarium*, la contamination peut se faire par l'intermédiaire de l'atmosphère saturée en eau, support idéal pour certaines colonies qui sont aspirées puis véhiculées ensuite dans les gaines d'aération. Leur rôle dans la transmission des épidémies est trop souvent négligé ; c'est pourquoi elles ne font pratiquement jamais l'objet de désinfection systématique.

Au chapitre des soins collectifs, les problèmes majeurs résident dans l'atmosphère des salles de soins (*vaporarium* ou étuves) et dans les piscines thermales [12].

Une attention particulière doit leur être portée. C'est en effet l'une des zones de propagation de germes de toute nature : *Pseudomonas aeruginosa*, légionnelles, staphylocoques, streptocoques, coliformes, amibes, *Candida albicans* [15] etc... Il n'y a pas de corrélation significative entre la qualité microbiologique de l'eau dans les piscines et les cas pathologiques relevés, tout au plus une présomption.

Ces risques peuvent être limités en modifiant à la fois l'hydraulicité et le taux de renouvellement de l'eau de

la piscine [3, 16] et l'agencement des salles de soins ou en créant ce qu'on appelle des « unités de soins ». Dans un espace le plus restreint possible de l'établissement thermal, les curistes sont individuellement pris en charge dès les vestiaires pour la totalité de leur traitement sans qu'il y ait croisement des zones dites « sèches » et « humides ».

### *Le public*

Le public qui fréquente les thermes est en général constitué par des personnes âgées, fragiles, présentant toutes le même type d'affections. Ces personnes sont donc moins bien protégées que le personnel de soins plus jeune, robuste et sans doute immunisé naturellement.

Il faut souligner le rôle essentiel du corps médical : médecin prescripteur qui jugera de l'opportunité de la cure puis choisira la station et le médecin thermal qui déterminera le type de soins en fonction du malade et le suivra tout au long de la cure. L'objectif consiste à écarter des cures certaines personnes trop fragiles ou manifestement hors d'état de la supporter.

### **Gestion de la qualité : efficacité des mesures de nettoyage et de désinfection**

Le fonctionnement correct d'un établissement thermal exige de bonnes pratiques d'exploitation et des mesures de nettoyage et de désinfection adéquates. Cette surveillance quotidienne passe par un contrôle de qualité effectué dans un laboratoire situé dans l'enceinte de l'établissement.

Ce laboratoire sera chargé d'effectuer *le contrôle de qualité* :

- *sur l'eau minérale* distribuée dans les thermes aux points critiques définis auparavant : eaux superficielles environnantes, ressource hydrominérale, à l'émergence, après transport, stockage, traitements thermiques, etc. à tous les points fragiles du réseau, en sortie des appareils de soins dans les locaux de soins (piscine notamment [15]).

- *sur l'atmosphère* de l'établissement [8] : des salles de soins, des aerosols thermaux [9], des études et *vaporarium*, berthollets..., des couloirs et halls, des gaines d'aérations et de climatisation, au-dessus des réservoirs de stockage ;

- *des surfaces* [7] : des salles de soins, des études et *vaporarium*, berthollets..., des couloirs et halls, des gaines d'aération et de climatisation ;

- *des boues thermales* [4] (le cas échéant) : sur matière première si la boue est une boue maturée, avant application si la boue est une boue de récupération et remise à maturer ;

- *des procédés de nettoyage et de désinfection* : essais des produits et des protocoles d'application de ceux-ci, mise au point d'une méthodologie, formation du personnel aux consignes d'entretien, de nettoyage et de désinfection, vérification de celles-ci par des analyses

sommaires mais adaptées à chaque cas.

Ce laboratoire sera équipé pour les analyses bactériologiques de base sur l'eau et sur l'air après adaptation des techniques d'écouvillonnage : numération totale, germes-témoin de contamination fécale (coliformes fécaux, streptocoques fécaux, anaérobies sulfato-réducteurs) puis les pathogènes ou opportunistes (staphylocoques, *Pseudomonas aeruginosa*, légionnelles...).

Il devra être aussi capable d'effectuer dans un premier temps les mesures et analyses physicochimiques sommaires sur l'eau : température, conductivité, débit, ions majeurs caractéristiques de l'eau (sulfates, alcalinité, anhydride carbonique, sulfuration totale...).

Chaque point critique sera répertorié avec l'indication et la classe du risque, le type d'analyse (bactériologique et le cas échéant, physicochimique) et sa fréquence. Celle-ci dépend bien entendu de chaque cas particulier ; état des locaux et des installations, fréquentation instantanée, techniques de cures etc... De même certaines adaptations sont à prévoir en fonction de l'objectif recherché ; il ne s'agit pas en effet de faire du contrôle de qualité un alibi mais un instrument efficace.

De tels laboratoires existent ou se mettent en place progressivement et certains fonctionnent déjà dans quelques grandes stations. Pour celles de moindre importance pour qui le niveau de fréquentation n'en permettrait pas l'entretien, on peut envisager des structures communes sous l'égide d'organisations professionnelles.

### *Interprétation*

Il n'entre pas dans ce propos de fixer des normes sur la qualité bactériologique de l'eau utilisée dans les thermes sauf bien entendu pour exiger l'absence de germes témoins de contamination fécale en tous points du réseau. Le cas des piscines thermales utilisant l'eau minérale *non traitée* relève de l'exception et doit être interprété au cas par cas.

En ce qui concerne les *Pseudomonas*, comme le souligne le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France dans un avis : « *en l'état actuel des connaissances, il est difficile de fixer une norme de qualité mais en tout état de cause il faut veiller à ce que les teneurs en *Pseudomonas aeruginosa* par 250 ml soient les plus faibles possibles et tendent vers 0* »

Pour les légionnelles, faute d'un recul suffisant, les avis des spécialistes sont partagés entre le seuil « zéro » et un seuil arbitraire qui se situerait entre  $10^2$  et  $10^3$  UFC par litre.

### **Bilan de l'efficacité des mesures d'hygiène**

Le contrôle de qualité est un moyen permettant de garantir un niveau général d'hygiène compatible avec les nouvelles exigences de qualité. Les résultats doivent être interprétés par le responsable du laboratoire et

servir de base à une approche de type épidémiologique réalisée avec le concours des médecins thermaux et du personnel soignant.

Plusieurs conditions doivent avoir été au préalable réunies :

- volonté de l'établissement et des moyens matériels et humains, ce qui suppose un effort individuel et une remise en question permanente,
- méthodologie adaptée à chaque cas particulier,
- information et une bonne réceptivité du curiste qui, déjà suivi pendant sa cure par son médecin thermal, accepterait les contraintes d'une enquête épidémiologique post-cure.

Il revient en effet au corps médical mais également à l'établissement thermal de mettre en place un suivi post-cure sur un an par l'intermédiaire d'un questionnaire précis mais anonyme dont les résultats seraient interprétés par un médecin épidémiologiste.

En conclusion, le système d'« assurance qualité » proposé est un moyen de garantir des prestations permettant un thermalisme de qualité. Bien entendu, il ne supprimera pas toutes les causes d'accident tant elles sont multiples mais, utilisé à bon escient, il contribuera à les réduire fortement et assurer un niveau de sécurité minimum. La satisfaction des nouvelles exigences d'hygiène permettrait ainsi au thermalisme français d'aborder l'Europe de demain dans les meilleures conditions.

#### RÉFÉRENCES

1. Bornstein N. et coll. – Risque de légionellose chez les curistes fréquentant un établissement thermal. *La lettre de l'Infectiologue*, 1988, 3, 435-437.
2. Canellas J. – Communication privée.
3. Collin J.F. et coll. – Hydrodynamique dans les piscines. Influence du débit et du nombre d'arrivée d'eau. In : *XXIV Congrès de la Société Internationale des Techniques Hydrothermales*, Evian, 1988, pp. 164-170.
4. Counilh P. et coll. – Contrôle de qualité des « médicaments thermaux » à Dax. *Presse therm. clim.*, 1988, 125, 115-120.
5. Epidémie de pneumonies et de méningites dans un établissement thermal : isolement d'une bactérie non antérieurement rencontrée en pathologie humaine. *Bull. Épidémiol. Hebdo.*, 1988, 10, 37-38.
6. Laroche C. – Sur la demande d'autorisation d'exploiter en tant qu'eau minérale naturelle à l'émergence et après transport à distance, l'eau des captages Levant Est et Levant Ouest situés à Gréoux-les-Bains (Alpes-de-Haute-Provence). *Bull. Acad. Nat. Méd.*, 1988, 172, 371-393.
7. Paquin J.L., Bonnefoy X. – Techniques d'étude de la contamination et de la décontamination des surfaces dans une installation thermale. *Presse therm. clim.*, 1988, 125, 414-416.
8. Pépin D., Rambaud A., Chades G. – Hygiène de l'atmosphère dans les établissements thermaux. *Presse Therm. Clim.*, 1988, 125, 416-418.
9. Pépin D. et coll. – Etude de la qualité biologique des aérosols thermaux. In : *XXIV Congrès de la Société Internationale des Techniques Hydrothermales*, Evian, 1988, pp. 301-308.
10. Popoff G. – Nouvelles méthodes de détermination des principales espèces ioniques du soufre dans les eaux naturelles. *J. Fr. Hydrol.*, 1979, 10, 83-89.
11. Popoff G. – Evolution des eaux minérales sulfurées dans un établissement thermal. *Sci. Tech. de l'eau*, 1983, 16, 223-233.
12. Popoff G. – Perspectives d'amélioration de l'hygiène dans les piscines thermales. *Presse Therm. clim.*, 1985, 122, 9-13.
13. Popoff G. – Les matériaux utilisés dans le transport des eaux minérales. *Presse therm. clim.*, 1988, 125, 418-420.
14. Popoff G. – L'« assurance qualité » dans le thermalisme. Communication présentée. In : *Colloque de l'Association Pharmaceutique Française pour l'Hydrologie. « Vers une bonne pratique du produit thermal »*, Bordeaux, 27-28 septembre 1990.
15. Rambaud A. et coll. – Contrôle bactériologique des eaux des piscines thermales. *Presse therm. clim.*, 1988, 125, 410-417.
16. Rambaud A., Taillades G., Dalmon C. – Détermination de l'hydraulicité des piscines par traçage en circuit fermé. In : *XXIV Congrès de la Société Internationale des Techniques Hydrothermales*, Evian, 1988, pp. 170-178.



# Principales indications de la thalassothérapie en rhumatologie

J. PACCALIN, P. OBEL, H. DABADIE, J. CANELLAS  
(Bordeaux)

## RÉSUMÉ

En raison du développement de la chimiothérapie, il a fallu attendre les années soixante pour que la thalassothérapie sorte de l'oubli. L'arthrose consécutive au vieillissement du cartilage articulaire, accélérée par le surpoids, bénéficie de la kinébalnéothérapie en piscine, des douches en jets, de l'algothérapie, des exercices de musculation ; la cure est complétée par l'éducation des mouvements et des postures, et par des conseils d'hygiène de vie. Par contre la thalassothérapie est interdite pendant les phases aiguës des rhumatismes inflammatoires : polyarthrite rhumatoïde, spondylarthrite ankylosante, périarthrites. Dans ces affections, la cure peut s'inscrire dans la stratégie thérapeutique à condition d'être menée avec prudence, de respecter le seuil de la douleur et de mettre à profit l'effet antalgique des bains et des piscines tièdes pour mobiliser les articulations et leur redonner des amplitudes raisonnables. Il faut donc surveiller la vitesse de sédimentation et l'anémie. Il s'agit bien là d'une prévention de l'ankylose. Enfin, on ne peut négliger le rôle de l'environnement, en particulier du climat.

**Mots clés :** Arthrose - Massages - Balnéothérapie - Algothérapie - Rééducation - Rhumatisme inflammatoire.

## SUMMARY

**Main indications of sea water therapy in rhumatology.** – Because of the development of chemotherapy, it was necessary to wait until the 1960's for sea water therapy to come out of oblivion. Osteoarthritis due to ageing of the articular cartilage, accelerated by obesity, benefits from kinébalneotherapy in the swimming pool, from jet showers, from algotherapy, from muscle exercises ; the treatment is completed by training in movement and posture, and by health education. On the other side, sea water therapy is forbidden during the stages of inflammations rhumatisms, rheumatoïd polyarthritis, ankylosed spondylarthritis, periarthritis. In these afflictions, the treatment can fit in with the therapeutic strategy providing that it is followed prudently, respecting the threshold of pain, and taking advantage of the antalgic effect of the baths and tepid swimming pools in order to mobilize the joints and give them a reasonable amplitude. One has to therefore keep an eye on the speed of sedimentation and anaemia. It is a rather therefore a prevention of ankylosis. So, the role of the environment can't be neglected, particularly the climate.

**Key words :** Osteoarthritis - Massages - Bathing therapy - Algotherapy - Reeducation - Inflammatory rhumatism.

Il y a 20 ans, la thalassothérapie était pratiquement inconnue. Aujourd'hui, 70 000 curistes fréquentent annuellement l'un des nombreux centres installés le long de nos côtes. Il faut dire que l'espérance de vie s'allonge et accroît du même coup le nombre des patients qui sont porteurs d'une affection rhumatologique (en particulier l'arthrose) et qui réclament meilleur confort et autonomie jusque dans le grand âge. La thalassothérapie, comme la crénothérapie, utilise les propriétés thérapeutiques des eaux, avec cependant des caractéristiques qui lui sont propres :

– le climat marin, tonique et stimulant. Il faut rappeler les principales caractéristiques : degré hygrométrique élevé et stable, pression atmosphérique élevée, rayonnement solaire intense, vents provenant de la mer auxquels s'ajoutent brise de terre et brise de mer, ionisation atmosphérique élevée et positive...

– l'eau de mer, dont la salinité (35 g/l en moyenne) lui confère une densité dont la conséquence est sa meilleure portance par rapport à l'eau douce.

Rappelons que l'importance de la poussée hydrostatique est proportionnelle à l'immersion : c'est ainsi qu'en position debout, tous les sujets, en immersion maxima, pèsent le même poids (6 à 10 % de leur poids réel), alors qu'en position couchée, la pesanteur équilibre pratiquement la pression hydrostatique, si bien qu'on approche de l'apesanteur avec l'aide de quelques petits flotteurs. Ainsi, peut-on moduler les appuis pour lutter contre des attitudes vicieuses ; on peut améliorer les troubles trophiques en dosant les

Laboratoire de Thérapeutique, Université de Bordeaux II.

Tirés à part : Dr J. Paccalin, Professeur de Thérapeutique, Hôpital St-André, 1, rue Jean-Burguet, 33075 BORDEAUX CEDEX.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

pressions osseuses, on peut rétablir le schéma corporel, les notions de latéralité, on peut favoriser la prise de conscience des équilibres, rééduquer les mécanismes posturaux et contrôler le tonus.

Dans l'eau de mer tiède, la relaxation est facilitée, ce qui permet de lever les tensions musculaires, les contractures et les spasmes déclenchés par la douleur.

La réadaptation en piscine d'eau de mer tiède est donc un des éléments fondamentaux de la thalassothérapie et cette réadaptation au mouvement est réalisée grâce à l'absence de l'effort antigravitaire. C'est dire que le bassin, la piscine seront le lieu d'apprentissage de l'adaptation à la flottaison, de la relaxation active, des exercices de coordination, du contrôle tonique et du schéma corporel.

Il faut rappeler également que des travaux récents ont mis en évidence, sous la dépendance du « facteur atrial natriurétique », d'importants effets physiologique de l'immersion : augmentation de la natriurèse, de la kaliurèse, de la diurèse, inhibition de la sécrétion de rénine, vasodilatation.

L'analogie entre le plasma et l'eau de mer diluée au tiers est frappante. Parmi les sels, le chlorure de sodium tient la place prépondérante (26 g/l), mais ses effets sont corrigés par la présence de chlorure et de sulfate de magnésium (4 g/l), de sulfates de calcium et de potassium (1 g/l). L'analyse spectrographique décale dans l'eau de mer 92 corps simples. Parmi les éléments traces certains sont considérés comme des biocatalyseurs puissants et classés parmi les oligo-éléments (Cu, Fe, F, Mn, Zn, Si). L'iode et le brome sont extraits sélectivement par les algues.

L'eau de mer se caractérise par la présence de zooplankton et phytoplancton. Le phytoplancton est constitué d'organismes Protocaryotes (*Cyanobactéries*) et de microalgues Eucaryotes (*Bacillariophycées*, *Chlorophycées*) qui ont la propriété de concentrer les oligo-éléments et de produire divers composés dont certains sont doués d'activité pharmacologique.

Des macroalgues appartenant aux Thallophytes comme les Rodophycées (*Chondrus*, ...), les Phéophycées (*Fucus*, *Laminaria*, ...) sont utilisées après cryobroyage. Elles sont riches en stérols, en iode et en oligo-éléments.

Les vases marins, abondantes dans les vasières littorales découvertes, sont le siège en surface d'une vie microbiologique intense : zooplankton phytoplancton riche en chlorophylle, diatomées abondantes. L'eau de mer qui constitue l'eau interstitielle voit sa composition modifiée par les échanges avec le sédiment et l'activité de la microflore. Les transformations sont celles qui se produisent lors de la « maturation en bassin » des péloïdes (Ottmann). En application, des vases marins réchauffés provoquent une vasodilatation, d'où leur effet antalgique et myorelaxant.

Les rhumatismes sont le plus souvent des maladies invalidantes évolutives, réagissant incomplètement au

traitement médical. On se sert donc en complément de la rééducation fonctionnelle dont le but est rarement la restitution *an integrum* de la fonction mais plutôt la recherche d'une stabilisation et le ralentissement de l'évolution.

L'indication majeure est le rhumatisme dégénératif, affection chronique qui survient habituellement vers la cinquantaine et frappe plus particulièrement les articulations qui soutiennent le poids du corps (genoux, hanches, colonne vertébrale). Les lésions d'arthrose se caractérisent par une destruction initiale du cartilage associée à des proliférations osseuses et à des lésions inflammatoires de la synoviale. Elles entraînent des arthropathies chroniques douloureuses, déformantes, non inflammatoires, à plusieurs niveaux.

*Au niveau de la colonne cervicale* : cervicarthroses, névralgies cervicobrachiales, ostéoporose. Le torticolis en est l'expression la plus fréquente. La cervicarthrose se manifeste par des poussées calmées par des traitements anti-inflammatoires. La thalassothérapie, la rééducation fonctionnelle sont très bénéfiques pour éviter le raidissement de la nuque et calmer les douleurs.

En général, on alterne les massages, les douches sous-marines, les bains bouillonnants, l'algothérapie, de préférence à sec et sous rayonnement infrarouge, les exercices en bassin, à jet sous-marin et en piscine, centrés sur la colonne cervicale et la ceinture scapulaire.

*Au niveau de la colonne dorsale* : la dorsarthrose, les séquelles d'épiphysite, l'ostéoporose, les tassements vertébraux.

*Au niveau de la colonne lombaire* : les lombalgies communes, la lombarthrose avec ses conséquences de lombosciatiques, cruralgies, spondylolisthésis, ostéoporose.

Les lombalgies se manifestent par un fond douloureux sur lequel se greffent des périodes de douleurs aiguës. Elles se rencontrent chez des patients d'âge moyen. Elles sont la conséquence d'une activité professionnelle qui contraint à des efforts réguliers et excessifs. Outre la mise en repos de la colonne vertébrale, le malade est l'objet de plusieurs soins : massages manuels suivis d'un bain bouillonnant sédatif et de rééducation lombo-abdominale en piscine d'eau chaude ou en bassin à jet sous-marin, soit un massage sous l'eau suivi d'une douche au jet, d'une algothérapie et d'une gymnastique lombo-abdominale. Les soins de la cure seront complétés par des conseils d'hygiène de vie et une rééducation alimentaire contre la surcharge pondérale.

*Au niveau de la hanche* : l'arthrose de la hanche apparaît vers la cinquantaine. Elle se signale par des douleurs à l'appui déclenchées électivement par la station debout et la descente des escaliers. Le dérouillage matinal est pénible. Ainsi, le patient ne peut lacer facilement ses chaussures. Puis, apparaît une boiterie, et une atrophie musculaire.

Le traitement comporte des massages manuels, des massages sous l'eau et un apprentissage de la marche en piscine. On utilise également la chaleur sous forme d'algothérapie sous infrarouge, la fangothérapie, les bains bouillonnants et la rééducation en salle pour tonifier la musculature.

*Au niveau du genou* : la gonarthrose se rencontre surtout chez la femme après la ménopause, avec une obésité. Elle entraîne un *genu-varum* ou un *genu-valgum*.

Les massages, la balnéothérapie, la mécanothérapie sont utilisés en priorité mais on peut aussi ordonner l'ionisation d'un produit anti-inflammatoire, les bains bouillonnants et l'application des algues. Une rééducation alimentaire est là encore indispensable.

*Au niveau des petites articulations*, en particulier celles de la main. La rhizarthrose du pouce et l'arthrose interphalangienne sont traitées par des bains segmentaires, des applications d'algues ou de boues, les jets et douches sous-marines et les massages manuels.

Autre grande catégorie de maladies rhumatismales, les rhumatismes inflammatoires peuvent être améliorés par la balnéothérapie en dehors des poussées inflammatoires : la spondylarthrite ankylosante, la polyarthrite rhumatoïde, le rhumatisme psoriasique.

Le risque d'ankylose des articulations touchées par la maladie nécessite des règles d'hygiène et une kinésithérapie de prévention. Il faut mener la cure avec prudence, respecter le seuil de la douleur et mettre à profit l'effet antalgique des eaux chaudes pour mobiliser les articulations avec une amplitude raisonnable. La balnéothérapie chaude (ne pas dépasser 37°C) diminue les douleurs et fait disparaître la raideur matinale. La cure peut comporter également des massages manuels très doux, une mobilisation dans des bains bouillonnants, l'algothérapie. Il faut éviter tout effort excessif des articulations, en observant des pauses. Enfin, il faut que le malade apprenne des exercices de gymnastique quotidienne qu'il pratiquera toute l'année.

Les périarthrites touchent en général une seule articulation : l'épaule le plus souvent ou la hanche qui se trouvent enraides et douloureuses. Le traitement

s'applique à faire disparaître la douleur et rééduquer la fonction. On utilise à cet effet, les bains bouillonnants, les douches sous-marines, les enveloppements d'algues et de vases. La gymnastique de l'épaule ne sera possible qu'en eau de mer tiède et essentiellement en bassin à jet sous-marin où l'effet de massage amène une détente des contractures réflexes et permet de recouvrer une mobilité articulaire. Lorsque l'indolence est obtenue, les exercices destinés à renforcer la musculature peuvent commencer.

Les séquelles de traumatismes et la chirurgie des prothèses articulaires représentent de bonnes indications. Une remise en charge post-opératoire précoce est facilitée par la balnéothérapie. Les retards de consolidation osseuse en bénéficient également. La pathologie abarticulaire, les radiculalgies peuvent être bien soulagées. Les algo-neuro-dystrophies peuvent être guéries mais les collagénoses ne sont jamais justiciables de crénothérapie.

A maladie chronique, traitement d'entretien : les cures de thalassothérapie sont rarement curatives ; par contre, elles sont un traitement antalgique efficace pendant plusieurs mois. Il faut les répéter autant que possible tous les six mois et ceci pour une durée de deux semaines.

La thalassothérapie n'est bien sûr pas la panacée. Elle doit intervenir à son heure, ni pendant les poussées inflammatoires où le traitement médical est prépondérant, ni pendant les poussées aiguës où le traitement orthopédique ou chirurgical est plus indiqué. La cure doit être un lieu privilégié d'éducation sanitaire où les patients reçoivent l'enseignement du bon comportement vis-à-vis de leur rachis, apprennent la diététique qui évite les surcharges pondérales, s'accoutumant à des postures simples pour corriger leurs attitudes et utilisent les bienfaits de la natation selon la nature de l'atteinte rhumatismale. La thalassothérapie représente un excellent moyen de prévention contre le fléau rhumatismal. Elle soulage la douleur, d'où la réduction de la consommation pharmaceutique chez l'ensemble des curistes surtout chez les plus âgés, et du temps d'arrêt de travail et d'incapacité chez les plus jeunes.



# Les sources géothermales et sulfurées de Barèges

R. LAUGIER \*, I. DIRE-MINE \*, B. BOURDEAU \*\*, P. DUSAUTOY \*\*, CH.-F. LEMAITRE\*\*

(*Châtenay-Malabry, Orsay*)

## RÉSUMÉ

La Municipalité et le Syndicat de modernisation et d'exploitation des Thermes de Barèges ont pris conscience de cette réalité : la référence au passé médiéval de la localité et à la Barégine qui y fut découverte, ne suffisent plus à assurer la notoriété médicale de la station. D'un commun accord, ils se sont tournés vers la mise en œuvre d'un programme de recherches qui se déroulera sur cinq années. A l'occasion du Colloque qui se tient simultanément en Guadeloupe et à La Martinique, nous présentons les résultats des travaux initiés et soutenus par la Ville et le Syndicat, dans les domaines de l'hydrogéo chimie et de la tectonique locale.

Mots clés : Thermalisme - Pyrénées - Barèges - Hydrogéo chimie - Cartes équipotentielles.

## SUMMARY

**Geothermal and sulfur springs at Barèges.** - The municipal authorities and the Group for Modernisation and Utilisation of Thermal Springs at Barèges have realised that harking back to the medieval past of the region and the discovery there of Barégine are not sufficient to ensure the medical reputation of the spa. By joint agreement, they have developed a research programme which will last five years. The opportunity will be taken at the colloque held simultaneously in Guadeloupe and Martinique to report the work started and supported by the town and the Group in the fields of hydrogeochemistry and of local tectonics.

**Key words :** Thermalism - Pyrénées - Barèges - Hydrogeochemistry - Equipotential maps.

## LE PATRIMOINE

Il s'agit de sources historiques qui ont été captées, réaménagées, sans jamais aller au-delà, du point de vue technique, du savoir-faire des puisatiers.

Circonstance aggravante, les Thermes ont été construits sur les puits qui se sont trouvés du même coup ensevelis sous les maçonneries. Leur accès est pour le moins malaisé, lorsqu'il n'est pas simplement impossible.

L'habitat ayant investi l'aire thermale, des nuisances ont motivé l'intervention de l'autorité de tutelle. La

fermeture des puits suspects a été prononcée sans autre forme de procès, sans rechercher l'origine et la nature des contaminations constatées. C'est ainsi que chaque puits oblitéré a été remplacé par un autre, foncé dans l'alignement un peu cahotique de la figure 1, au hasard d'un choix basé sur la disponibilité d'un emplacement demeuré libre, à moins que ce fut sur l'avis du sourcier local.

Le géologue « officiel » appelé tous travaux terminés ne pouvait être que bénissant. Plus récemment, des sondages ont été foncés en des emplacements dont le choix ne cessera jamais de nous étonner : un parking public n'est pas l'endroit idéal.

Tel est le cadre historique qui a précédé notre intervention sur le site de Barèges.

\* Université Paris-Sud, Faculté de Pharmacie, Laboratoire d'Hydrologie, 92296 Châtenay-Malabry.

\*\* Université Paris-Sud, Faculté des Sciences, Laboratoire de Pétrologie, 91401 Orsay.

Tirés à part : Pr R. Laugier, 16 bis, rue F.-Mouthon, 91380 CHILLY-MAZARIN.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

## GÉOTHERMALITÉ

Lorsqu'une eau thermale remonte au jour, elle a déjà perdu une partie de l'énergie calorifique dont

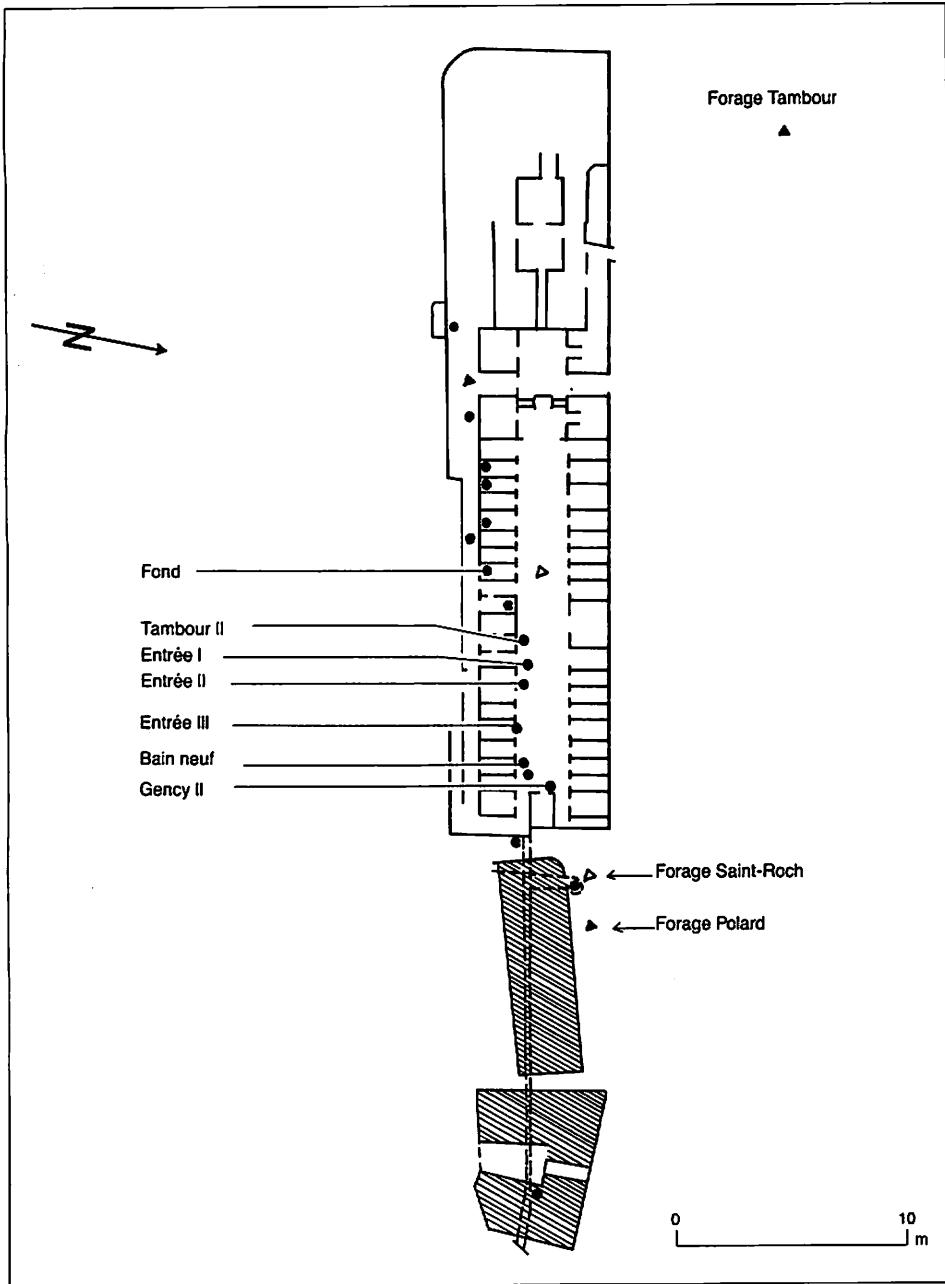


Fig. 1. – Plan schématique de l'établissement thermal de Barèges.

● sources  
▲ sondages

elle est le véhicule en réchauffant les terrains traversés. Si la source est en écoulement libre, le système est à l'équilibre.

En disposant des thermomètre enterrés autour du griffon, il est possible de dessiner des courbes isothermes concentriques qui traduisent la déperdition de chaleur par rayonnement centrifuge.

A Barèges l'épaisseur des schistes paléozoïques est

considérable. Leur fissuration est la marque de leur altération mécanique dont les moteurs ont été tectonique et climatique. Aussi, l'ascendance géothermale se subdivise-t-elle dans le réseau fissural en un buisson de ramifications qui donnent naissance à une pluriété de griffons interdépendants.

La figure 2 montre que :

20 : les isothermes sont orientés dans une direction

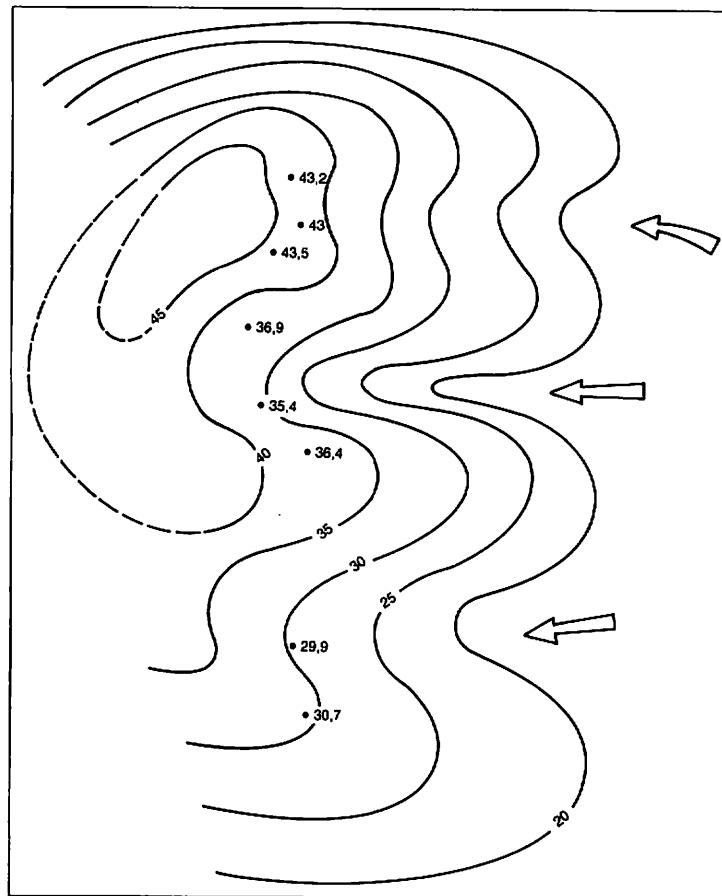


Fig. 2. – Etablissement de Barèges. Courbes isothermiques.

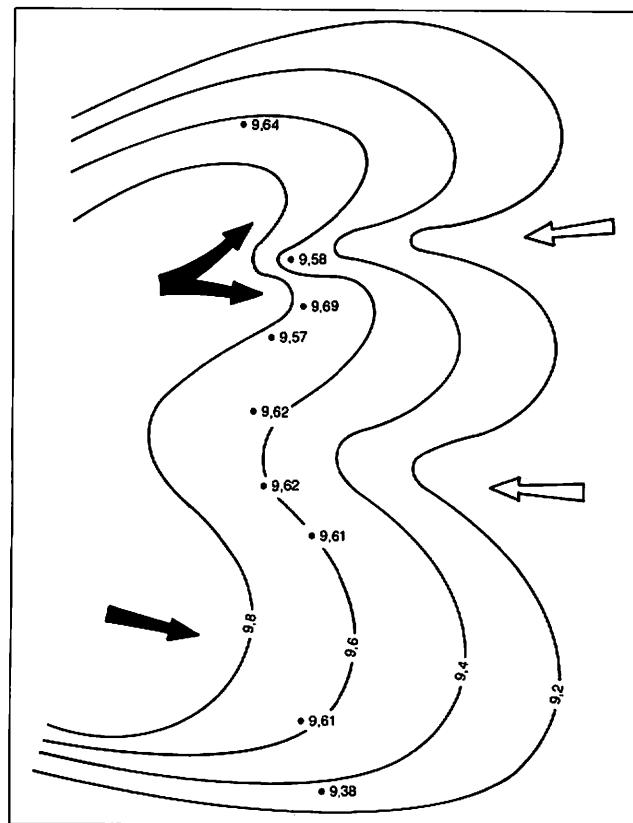


Fig. 3. – Etablissement thermal de Barèges. Courbes d'iso-pH.

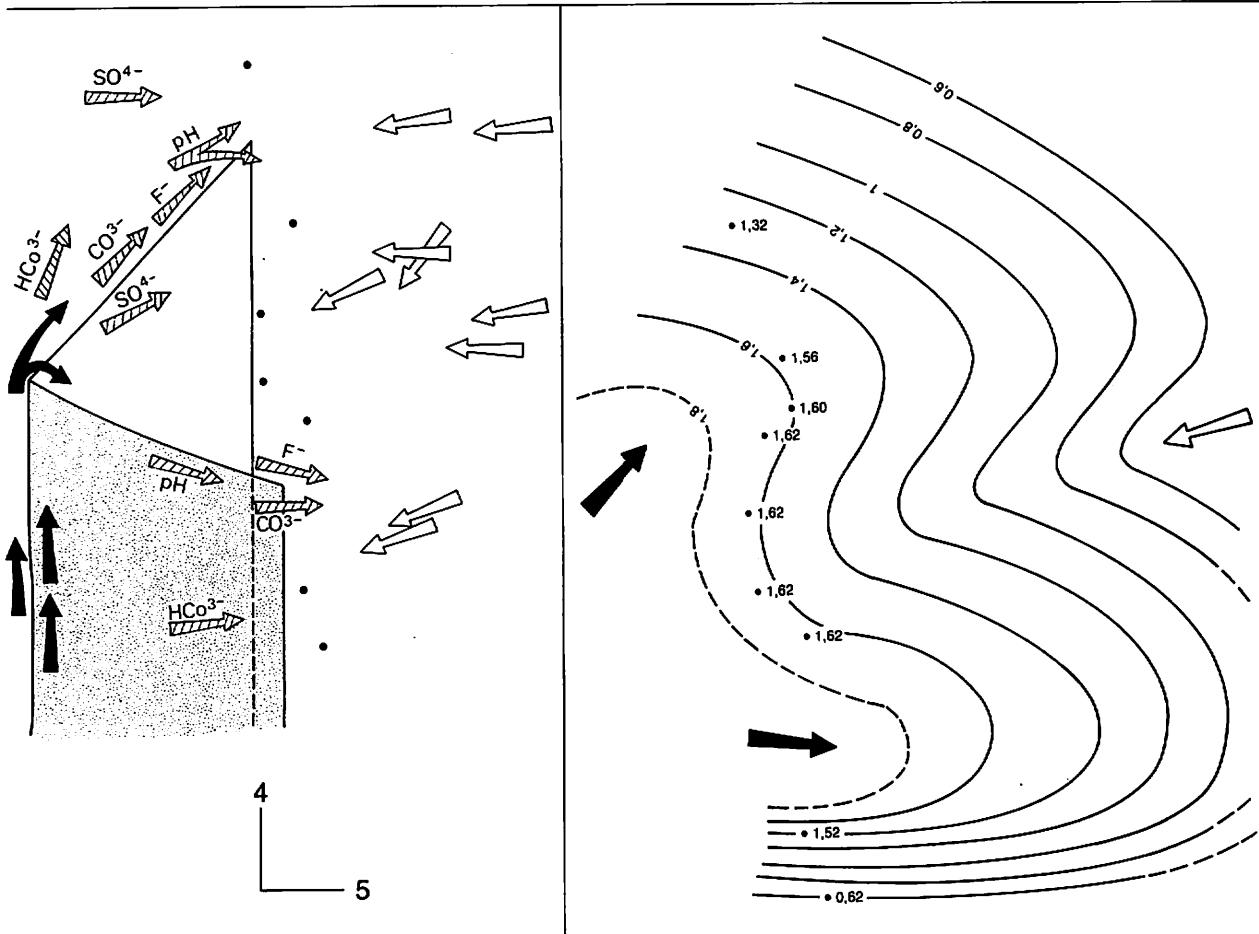


Fig. 4. – Synthèse des cartes en courbes équipotentielles.

Détermination des directions d'écoulement.

Flèches claires : eaux d'origine climatique.

Flèches noires : eau géothermale.

Fig. 5. – Etablissement thermal de Barèges. Courbes d'isoconcentration en  $\text{Co}^{3+}$ . Unité mE/l.

bien précise ; ils s'élèvent de 20°C à l'aplomb du torrent jusqu'à 45°C au pied du versant de la rive gauche.

21 : la surface délimitée par l'isotherme 45°C est à l'extérieur de la zone où se trouvent puits et forages. L'ascendance géothermale n'est pas ciblée.

22 : l'inféroflux alluvial s'introduit sous pression avec un gradient variable selon l'ouverture des fissures. Il repousse les isothermes qui dessinent des digitations dont l'orientation affirme l'opposition entre les deux aquifères.

## ALCALINITÉ

### 30 – Courbes d'iso-pH

Nous rejetons la référence aux eaux pyrénéennes sulfureuses-sodiques, hyperalcalines.

La figure 3 propose une interprétation dynamique de la mesure du pH qui se situe loin dans la zone alcaline en conséquence d'un processus que nous avons déjà exposé en diverses circonstances.

Des fissures disposées selon le dièdre (fig. 4) d'une diaclase ouvrent le passage à trois venues d'eau très alcaline. Les mêmes fissures accueillent de l'eau dont le pH est sensiblement plus bas sans que nous puissions en donner la valeur, attendu que nous sommes dans une zone de mélange où seules, les valeurs élevées sont représentatives.

### 31 – Alcalinité carbonatée

L'ion carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  est pris en compte pour estimer la fraction de l'alcalinité qui correspond à la zone  $8,3 < \text{pH} < 9,2$  (fig. 5).

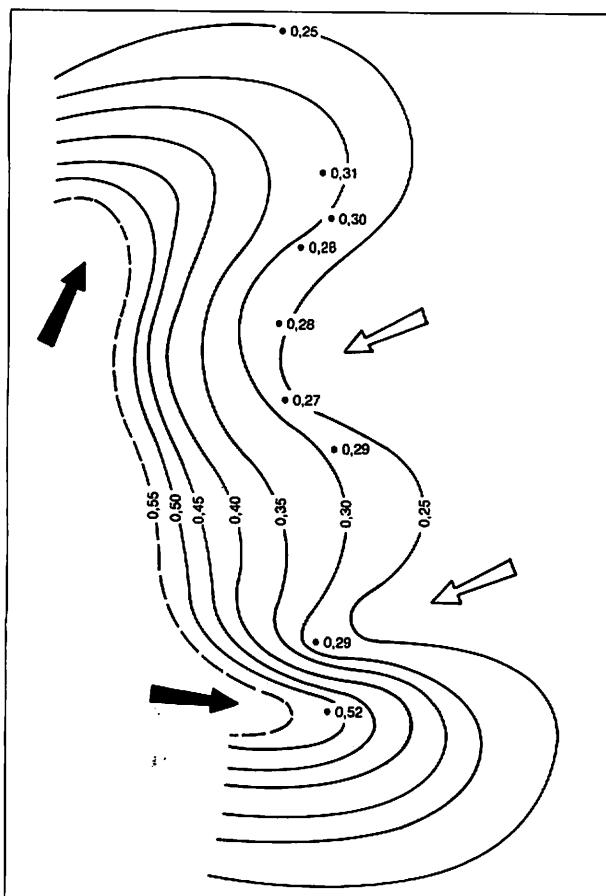


Fig. 6. - Etablissement de Barèges. Courbes d'isoconcentration en  $\text{HCO}_3^-$  en mE/l.

### 32 - Titre alcalinimétrique complet « TAC »

Ce titre exprime la teneur en hydrogénocarbonates (fig. 6).

### 33 - Estimation des bases alcalines

Les bases libres, dans le cas de Barèges :  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sont présentes lorsque  $\text{pH} > 9,2$ . Cette condition est réalisée à tous les points d'eau. C'est au puits « Entrée n° 2 » que les bases sont les plus remarquables. La figure 7 suggère l'importance des bases par la cartographie du  $\Delta \text{pH}$  entre  $9,2 < \text{pH} < 9,69$ .

Deux équipotentielles sont dessinées pour les valeurs de  $\Delta \text{pH} = 0,25$  et  $\Delta \text{pH} = 0,50$ .

Le point remarquable au droit du puits « Entrée n° 2 » s'aligne sur les anomalies déjà exposées. Il signe la proximité de l'émetteur géothermal.

### ION SULFATE (fig. 8)

Les familles de courbes que nous présentons désormais confirment le schéma interprétatif proposé : les

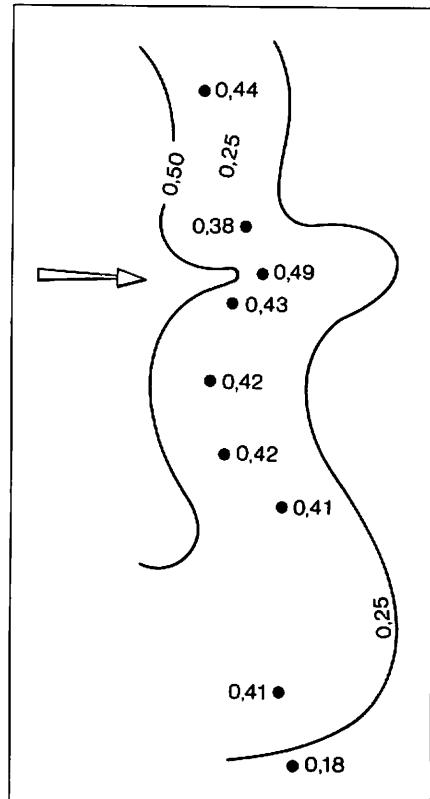


Fig. 7. - Evaluation des bases alcalines. Remarquer la poussée des eaux thermales de  $\text{pH} \geq 9,2$ . Unités mE/l.

concentrations des paramètres s'orientent toujours en valeurs croissantes en direction du versant rive gauche. Les digitations sont affrontées. Leurs contours diffèrent d'une carte à l'autre en fonction des critères de solubilité pour la température mesurée. Cette carte suggère deux fissures parallèles envahies par les deux aquifères qui glissent l'un sur l'autre. Nous ne constatons pas de mélange homogène.

### ION CHLORE (fig. 9)

Les flèches sombres affirment ce qui a été constaté pour les ions  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ . L'eau géothermale est délivrée par une belle diaclase dont les parois disposées en livre ouvert livrent passage à l'eau (fig. 4).

Les digitations puissamment enfoncées vers le pôle thermal témoignent de la vigoureuse mise en charge des eaux froides.

### ION FLUOR (fig. 10)

La fluorine de formule chimique  $\text{CaF}_2$  est le seul minéral filonien capable d'apporter du fluor dans une eau. Sa solubilité est de 1/25 000. Soit 19 mg/l exprimés en  $\text{F}^-$ .

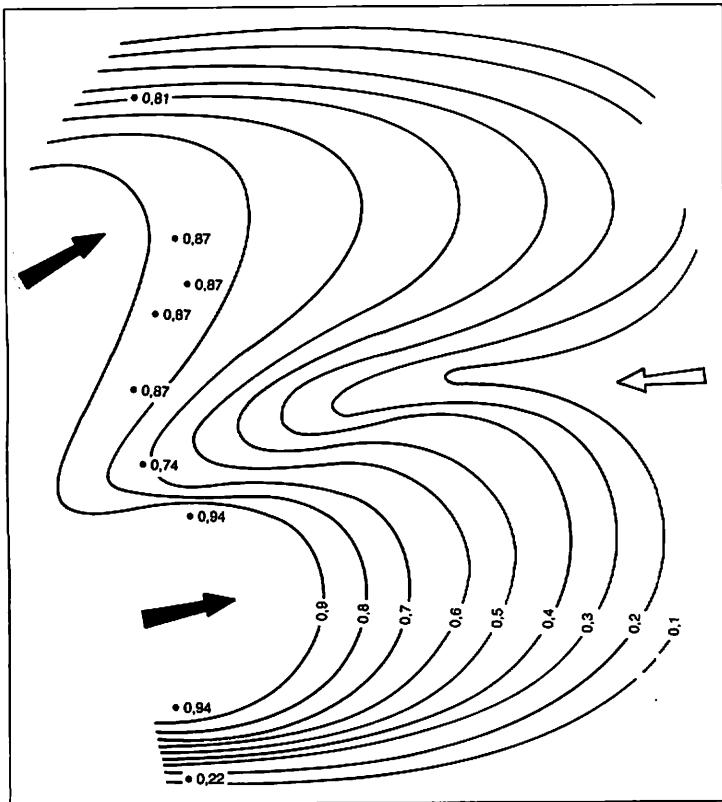


Fig. 8. – Etablissement thermal de Barèges. Courbes d'isoconcentration en Cl<sup>-</sup>. Unité : mE/l.

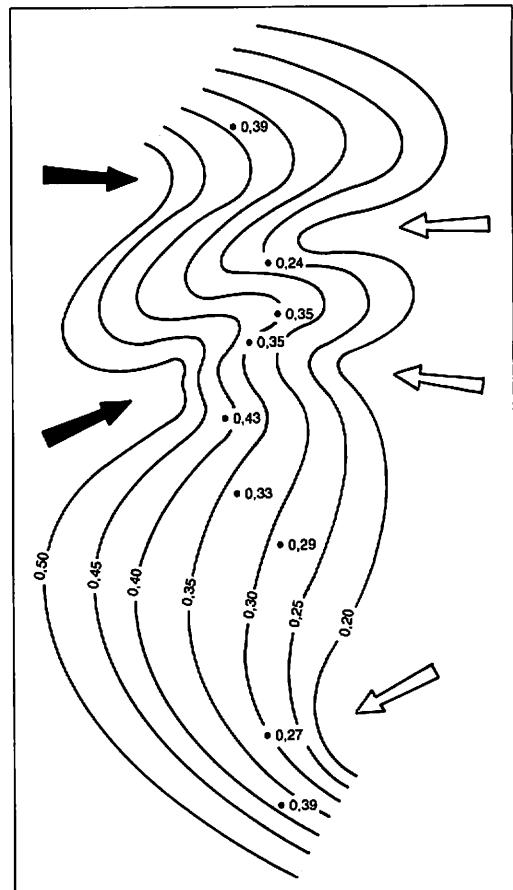


Fig. 9. – Etablissement thermal de Barèges. Courbes d'isoconcentration en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Unité : mE/l.

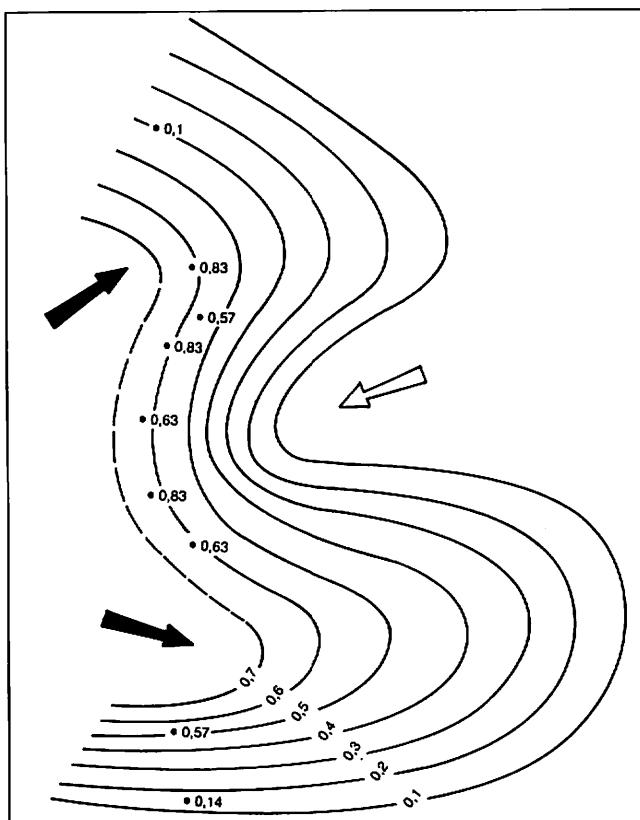


Fig. 10. – Etablissement thermal de Barèges. Carte en courbes d'isoconcentration en F<sup>-</sup>. Unité : mE/l.

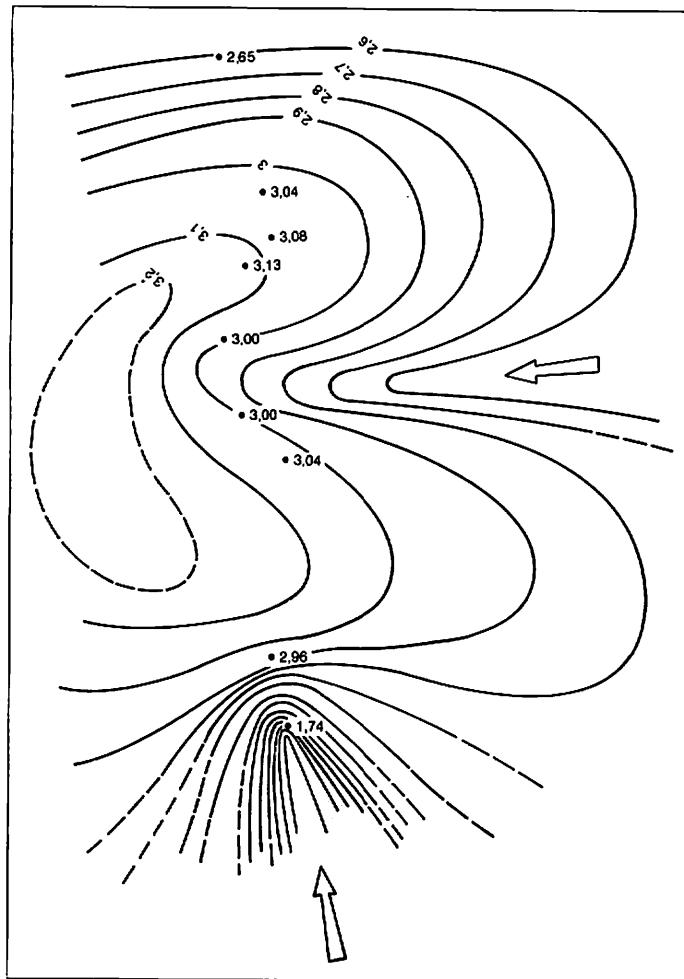


Fig. 11. – Etablissement thermal de Barèges. Courbes d'isoconcentration en  $\text{Na}^+$ , exprimé en mE/l.

La carte présentée est conforme aux précédentes dans sa morphologie. Elle est intéressante en ce qu'elle montre une concentration proche de la saturation à proximité de la diaclase qui est le siège de l'émetteur géothermal. A l'extérieur, la dilution constatée est de l'ordre d'un facteur x 9.

### ION SODIUM

La figure 11 apporte d'intéressantes confirmations : L'équipotentielle  $\text{Na} = 3,2 \text{ mE/l}$  est fermée sans qu'il s'agisse d'un artifice de dessin. En face, une digitation confirme la sensibilité à l'arrivée de l'eau climatique pressurisée.

Le forage Polard se révèle être foncé à l'aplomb d'une autre diaclase ouverte sur l'aquifère climatique : la concentration en  $\text{Na}^+$  s'effondre ; c'est la plus basse concentration en sodium mesurée dans les contours de l'aire thermale.

### SULFURATION

Cette minéralisation supplémentaire des eaux de Barèges fait actuellement l'objet d'une approche très approfondie, mettant en œuvre des moyens hors de portée du laboratoire de contrôle réglementaire.

Aussi, nous nous contentons intentionnellement d'interpréter les documents recueillis dans les archives de la station.

La carte de sulfuration globale met en lumière les larges écarts de la concentration en soufre réduit :  $8,73 < \text{S} < 20,35$ .

L'orientation des courbes porte l'attention sur l'équipotentielle  $21 \text{ mE/l}$  qui se ferme sur elle-même, évoquant l'existence d'un émetteur géothermal et sulfuré se trouvant au delà de la façade arrière du bâtiment des Thermes.

Deux fissures exposent l'eau aux arrivées d'eaux sauvages : l'une est bien marquée en direction de NW ; le

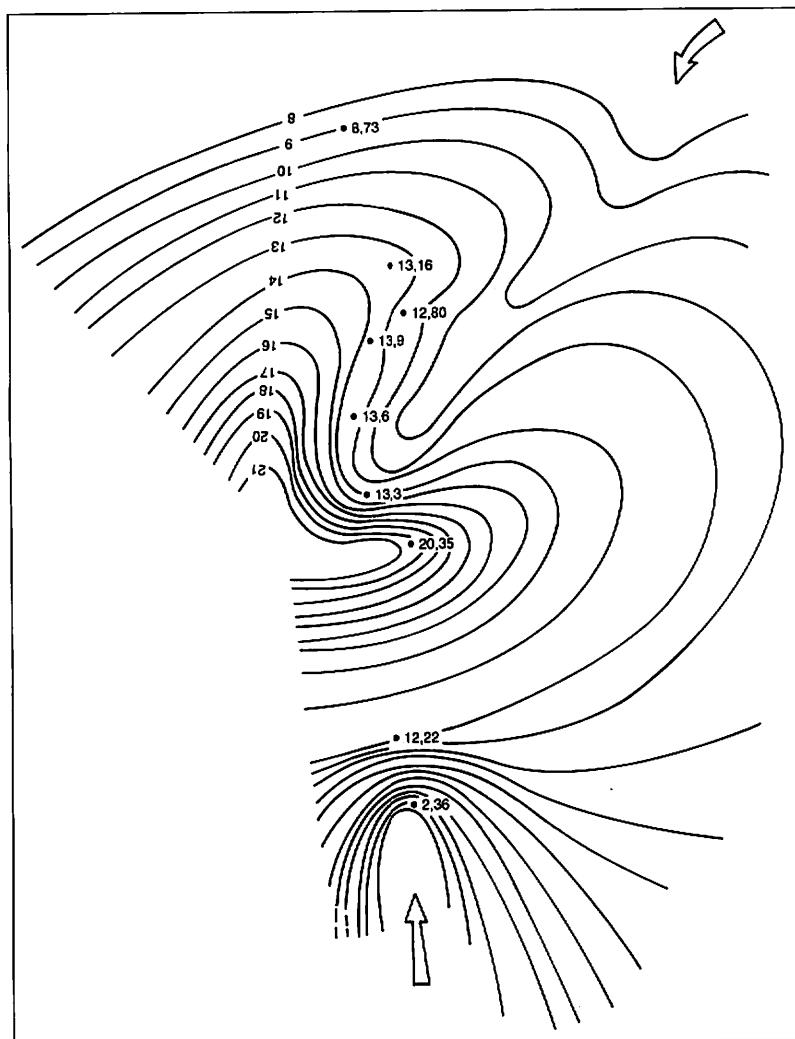


Fig. 12. – Etablissement thermal de Barèges. Courbes d'isoconcentration en sulfures, exprimé en mg/l.

forage Polard est foncé exactement sur la seconde, d'où les valeurs les plus basses qui aient été notées dans le périmètre thermal à Barèges.

### CONCLUSIONS SUR LA PRÉSENTATION GRAPHIQUE

Il s'agit à la fois d'un témoignage et d'une preuve.

Cette méthode de travail permet une exploitation rationnelle des documents d'archives et leur confrontation aux mesures les plus précises, eu égard à l'évolution des matériels d'analyse et des techniques qui y sont attachées.

Deux aquifères sont en présence (fig. 12) :

– l'un est géothermal, minéralisé, hydrogénocarbone-sodique et sulfuré. Il n'est pas maîtrisé. Les cap-

tages de toutes conceptions s'éparpillent dans sa proximité ayant recueilli le produit de fissures d'importance secondaire.

– le second est climatique, d'origine sous-alluviale. Il n'est pas maîtrisé non plus et se déploie dans l'aire thermale qu'il menace au plan de la géothermalité, de la minéralisation, et de l'hygiène.

### EXPLORATION GÉOLOGIQUE ET STRUCTURALE, JUILLET-AOUT 1990

Le recul de dix siècles démontre que le choix d'un site pour y décider de la construction de Barèges n'a pas été fortuit.

En cette époque lointaine, les maçons savaient par expérience que l'élévation de murs épais soutenant

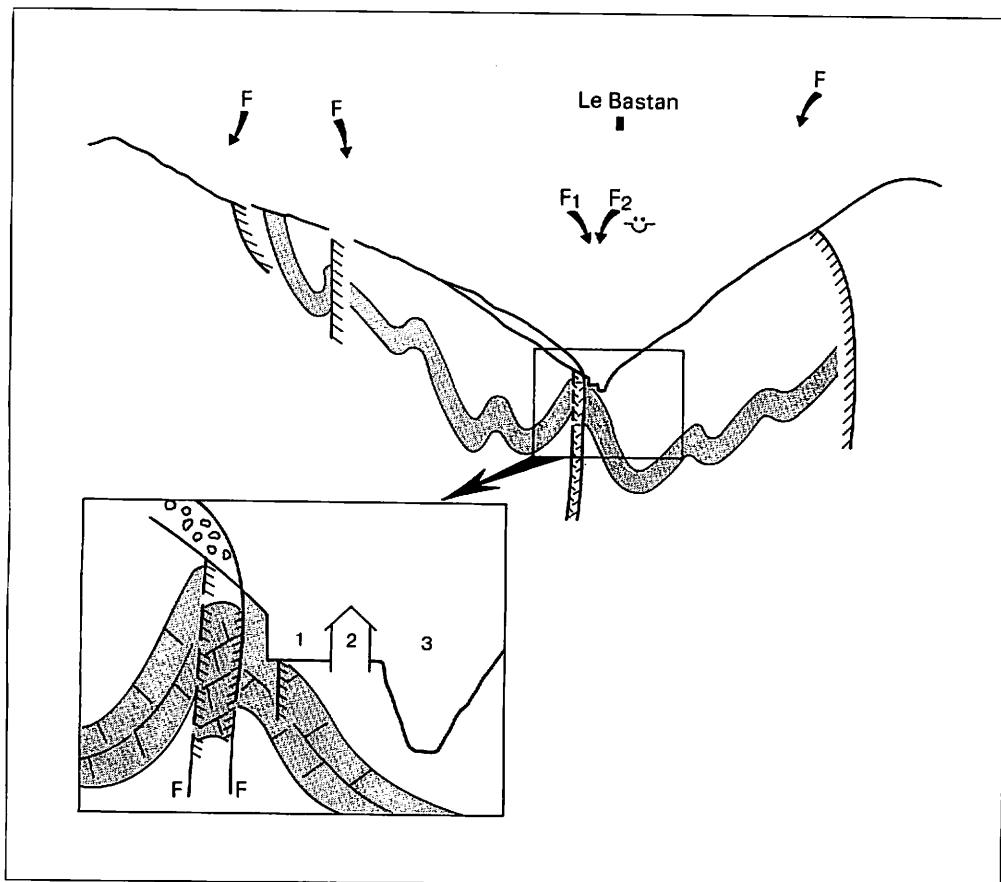


Fig. 13. - Coupe schématique transversale de la vallée du Bastan.  
1) carrière de marbre ; 2) Hôpital militaire ; 3) le Bastan, torrent.  
F, failles observées ou déduites.

une toiture de lauzes reportait sur les fondations des charges considérables.

Aussi, les placages morainiques suspendus et solifluyants qui encombrent la vallée du Bastan, les schistes fissurés et lehmifiés devaient-ils être écartés au profit d'une dalle calcaire offerte par une nature généreuse qui avait déjà doté le lieu de sources sulfurées activement fréquentées.

Ce substratum offre deux avantages :

- constructibilité : indéformable et résistant ;
- commercial : susceptible de recevoir un beau poli, il a été exploité sous le nom de « marbre de Luchon ».

### Les Faciès

Toutes les roches affleurantes dans la vallée du Bastan sont d'âge primaire. Elles ont subi des transformations multiples et répétitives : plissemens, fracturation, métamorphisme. Il faut ajouter à cette liste les altérations d'ordre climatique : fissuration, lehmification.

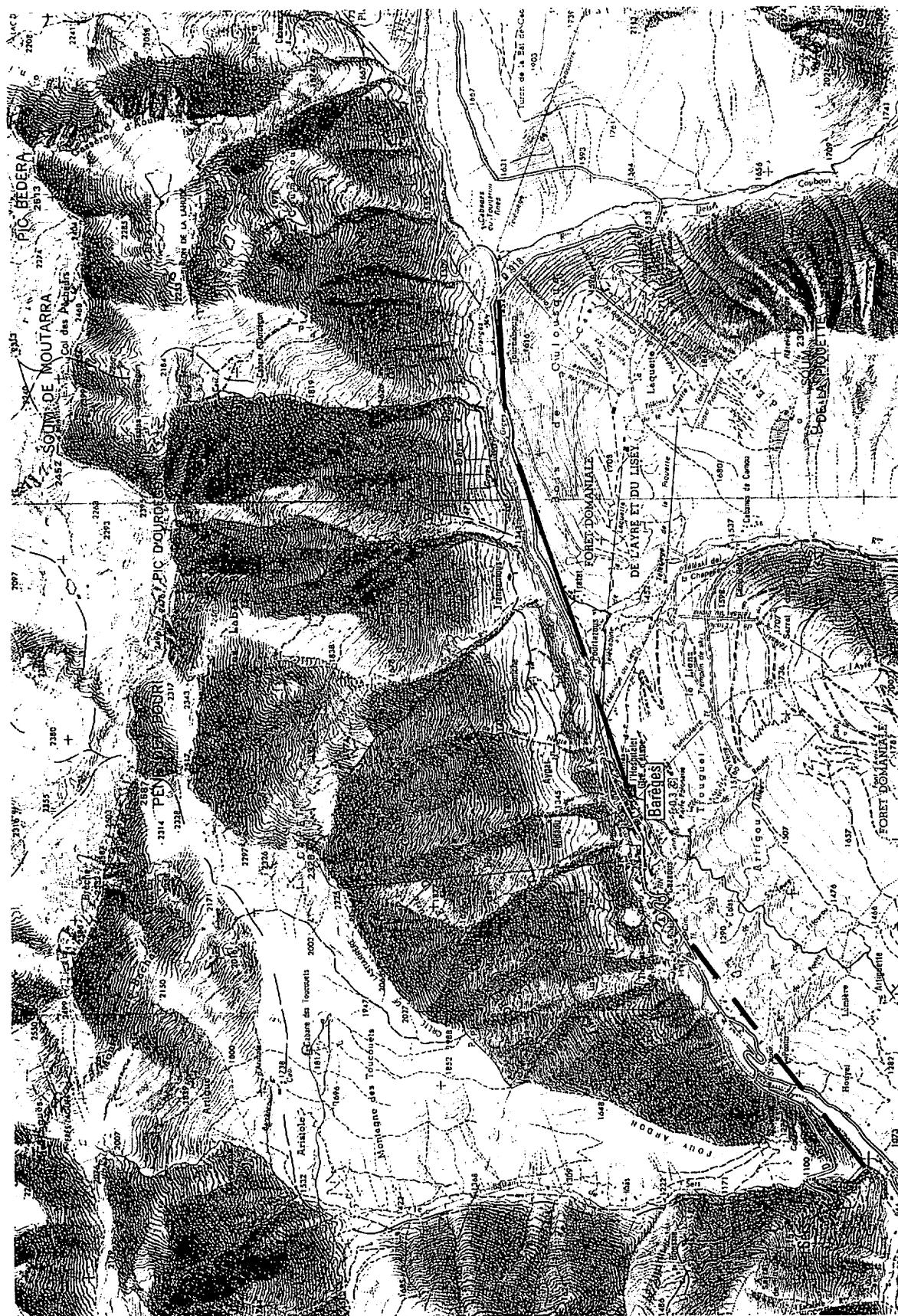
Adossés à des massifs de granite, les différents termes du Dévonien (inférieur et moyen) sont disposés en un vaste synclinal (fig. 12). Plissoté par compression, ployé le long de sa charnière, enseveli sous le Dinantien représenté par des calcschistes, le Dévonien moyen calcaire est observable :

- en tête de la vallée, au pied du téléphérique,
- en ville, où l'érosion découpe une fenêtre longue et étroite,
- en aval, à proximité de Sers, où la RN 618 en escalade le relief grâce à une série de lacets.

### La morphologie

La vallée du Bastan s'est façonnée dans ce moule, le creux de la longue entaille coïncidant avec le sommet de la voûte antiforme, mince, pincée, exposée à toute retouche tectonique.

C'est précisément ce qui s'est produit, les failles et leur cortège livrant passage aux ascendances géothermales et sulfurées caractéristiques de la chaîne des Pyrénées.



Presse thermale et climatique, 1992, 129, n° 3

## L'abandon de l'exploitation

Les critères d'ordre commercial ne sont pas les seules causes de cet abandon. Il faut prendre en compte :

- les difficultés d'extension d'une carrière située en centre-ville (fig. 13) ;
- l'instabilité d'une découverte devenue prohibitive et menaçante ;
- la limitation du massif en profondeur : le passage d'une faille réduit le stock en place à une mince muraille.

La carrière de Barèges est providentielle en ce sens qu'elle offre deux beaux miroirs de failles de 30 et 10 m<sup>2</sup> de surface unitaire. Les stries de glissement et les arrachements permettent de déterminer la direction dans laquelle les masses ont été mobilisées.

La calcite tapisse encore les parois des plans de glissement. La marmorisation est profonde, accompagnée de minéraux filoniers du métamorphisme : Chrysotile qui appartient à la famille des amiantes, enduits et lentilles amygdaliformes de talc.

Nous avons pu établir une chronologie des mouvements de compression, les lentilles de calcite de 1<sup>re</sup> génération étant transpercées par des lentilles sécantes de 2<sup>e</sup> génération, etc...

## Le suivi de la faille

Cet accident a fait l'objet d'un suivi minutieux f (fig. 13) jalonné de ferruginisations, miroirs multiples, dépôts pariétaux.

En amont de la carrière, le tracé est continu sur un linéaire de 1 450 m ce qui nous conduit au pied du télésiège où nous perdons sa trace (fig. 14).

Vers l'aval, nous le retrouvons dans le triangle Sers-Bergouey-Viey, au pont sur le Bastan, à l'embranchement du CD 147 sur la RN 618.

Au delà, la faille se prolonge vers la cluse du Gave de Pau dont elle frôle la sortie, de sorte qu'il est permis de penser qu'elle joue un rôle dans l'existence des sources de Saint-Sauveur, dont le faciès géochimique est comparable à celui de Barèges.

## CONCLUSION

Le travail sur le terrain confirme toutes nos interprétations appuyées sur la représentation des données analytiques en cartes d'équipotentielle :

- les sources de Barèges, naturelles ou aménagées, ne captent que le débit de fuites d'un aquifère minéralisé qui reste à découvrir,
- une faille et sa réplique en pré-déterminent l'acheminement vers la surface,
- le cortège expose l'eau thermale à toutes les eaux climatiques : infiltration directe à partir du Bastan, indirecte par les biais du flux sous-alluvial et des gouttes sous-morainiques.

La Ville et le Syndicat détiennent désormais les moyens de satisfaire leur ambition : développer le

Thermalisme dans l'état d'esprit d'une réflexion rigoureuse.

Les travaux pourront se poursuivre par la mise en œuvre de l'enchaînement des programmes partiels suivants :

- prospection géophysique de grande étendue ;
- sondages de contrôle et d'exploration complétés par des diagraphies ;
- extension de la géophysique à partir du fond des sondages ;
- sondage d'étude : caractères hydrauliques de l'aquifère géothermal minéralisé et sulfuré, hydrogéochimie, composition des gaz, activité nucléaire.

Les acquisitions cumulées ouvriront la voie à l'exploitation dans les conditions les plus fiables.



# Les micro-organismes des eaux thermales de Barèges (Hautes-Pyrénées)

A. COUTÉ \*, R. LAUGIER \*\*, I. DIRE \*\*, B. GEGU \*\*

(Châtenay-Malabry)

## RÉSUMÉ

Rompt avec une tradition médiévale, l'auteur présente une iconographie obtenue à l'aide des microscopes électroniques à transmission et à balayage des sulfobactéries de Barèges. Morphologie et contenu cellulaire sont abordés sous des grossissements atteignant jusqu'à X 67 500 diamètres. Des particules virales sont identifiées qui interviennent peut-être sur le développement de l'hôte bactérien.

**Mots clés :** Thermalisme - Barèges - Sulfobactéries - Virus - Microscopie électronique.

## SUMMARY

**Micro-organisms in thermal waters at Barèges (Hautes-Pyrénées).** - Breaking with a medieval tradition, the author presents transmission and scanning electron microscopic documentation concerning sulfobacteria at Barèges. Morphology and cell content are studied by magnifications of up to 67,500 diameters. Viral particles are identified. They are probably a factor limiting growth of the host.

**Key words :** Thermalism - Barèges - Sulfobacteria - Virus - Electron microscopy.

Barèges est une commune des Hautes-Pyrénées dont la vocation thermale remonte à plusieurs siècles. Au milieu du XIV<sup>e</sup> siècle, un notaire de Luz fait mention pour la première fois dans son minutier, des eaux curatives de la vallée [4].

Les organismes qui se développent aux griffons des sources connues pour leur odeur d'« œuf pourri », ont reçu des appellations aussi nombreuses que variées. A l'initiative de Lonchamps[3], le terme de « Barégine » a été adopté en 1824, pour désigner ces complexes biologiques afin de rappeler à la communauté scientifique de l'époque que le mérite de leur découverte revenait chronologiquement à la ville de Barèges.

\* Muséum National d'Histoire Naturelle, Laboratoire de Cryptogamie, 12, rue Buffon, 75005 PARIS.

\*\* Université Paris Sud, Faculté de Pharmacie, Laboratoire d'Hydrologie, 92296 CHATENAY-MALABRY.

Tirés à part : Pr R. Laugier, 16 bis, rue F.-Mouthon, 91380 CHILLY-MAZARIN.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

## ETABLISSEMENTS THERMAUX

Deux établissements réunis sous un même syndicat d'exploitation équipent la station thermale.

L'établissement de Barèges est axé sur les affections dermatologiques, articulaires et osseuses.

L'établissement de Barzun soigne la sphère ORL.

Les vertus curatives des eaux observées par les habitants ont été utilisées dès les premiers temps. Des bains souvent rudimentaires furent construits.

Au cours des siècles, les bains ainsi que les structures d'accueil s'aménagent, tels les hôpitaux : simples « cabanes » dans les années 1550. Le nombre de bains augmente et la réputation de la station se répand à la faveur des guerres qui embrasent le pays. Les sources recevront même le nom d' « eaux d'arquebusades » sous le règne de François I<sup>er</sup>.

Les blessés viennent soigner leurs fractures, entailles et infections dans les eaux régénératrices ; les derniers en date sont les soldats de la force multinationale de l'ONU basée au Liban.

Actuellement, la station, résolument tournée vers l'avenir, propose de nouvelles prestations, parmi lesquelles bains de délassement et de revitalisation.

## PATRIMOINE

### Ressource thermale

Dix-neuf griffons, puits et forages assurent la production de la ressource. Ce sont : Bain Neuf, Barzun, Barzun forage, Bordeu, Dassieu, Entrée I, Entrée II, Entrée III, Fond, Gency I, Gency II, Louvois, Polard, Polard forage, Ramond, Saint-Roch, Tambour I, Tambour II, Tambour III.

Actuellement, six points d'eau sont exploités :

- Tambour II, Saint-Roch : buvette ;
- Tambour forage, Polard forage : bains ;
- Gency : dermatologie ;
- Barzun ; soins ORL.

Les eaux recueillies sont transportées dans des canalisations en polymères, conservées à l'abri de l'air et de la lumière afin de maintenir constants les paramètres physicochimiques.

### Minéralisation

#### Caractères physiques

La géothermalité des eaux de Barèges est échelonnée entre 25,4 et 43,5°C.

Celle des eaux de Barzun oscille entre 24,8 et 27,5°C.

La mesure du pH confirme l'alcalinité élevée des sources :  $9,61 < \text{pH} < 9,73$ .

La résistivité  $3\ 270 < \rho < 4\ 890 \text{ ohm/cm}$  à 20°C rend compte d'une minéralisation moyenne pour toutes les sources, excepté le forage Polard dont la minéralisation est plus faible encore.

#### Caractères chimiques

Les valeurs  $\Delta^{\text{tot.}} < 1$  (expression de la concentration en calcium et magnésium) permettent de classer ces eaux parmi les eaux douces.

Les quatre cations fondamentaux ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) sont présents, mais avec une répartition très inégale qui caractérise d'ailleurs toutes les eaux thermales sulfurées de la chaîne pyrénéenne et de la plaque ibérique. La teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  est déficiente, le  $\text{Mg}^{2+}$  est absent ou réduit à l'état de traces. La concentration en  $\text{K}^+$  est irrégulière, ne semblant pas obéir à une règle précise. Seule la concentration en  $\text{Na}^+$  est supérieure au mE/l.

Les analyses chimiques sont extraites du mémoire de doctorat en pharmacie de I. Dire [2] d'après des mesures effectuées en avril 1988 (tableau I).

Parmi les anions présents, hydrogénocarbonates, chlorures, sulfates, fluorures, sulfures, seules deux espèces se distinguent :

Tableau I. – Concentrations ioniques dans les eaux de Barèges (avril 1988)

Anions	Concentration mE/l	Cations	Concentration mE/l
$\text{CO}_3^{2-}$	1,43	$\text{Ca}^{2-}$	0,91
$\text{HCO}_3^-$	0,27	$\text{Na}^{2+}$	2,83
$\text{Cl}^-$	0,82	$\text{K}^+$	0,07
$\text{S}^{2-}$	0,71		
$\text{F}^-$	0,48		
$\text{H}_3\text{SiO}_4^-$	0,70		
$\text{SO}_4^{2-}$	0,33		
Total des anions	- 4,74	Total des cations	+ 3,81

– le fluor dont la concentration très supérieure à la normale est corrélée à l'abondance de la fluorine dans la région,

– le soufre réduit qui est typique des eaux thermales.

### Le soufre : minéralisation supplémentaire

Les eaux sulfurées sont caractéristiques de Barèges. Le soufre peut exister sous différentes formes chimiques, de l'état le plus réduit, au plus oxydé (sulfures et polysulfures, soufre élémentaire colloïdal, thiosulfates, sulfites, sulfates). Les eaux sulfurées étant fragiles, le soufre peut passer rapidement d'une forme réduite à une forme plus oxydée.

La sulfuration est une minéralisation supplémentaire indépendante de ce que les roches ont pu céder soit directement par dissolution soit indirectement par hydrolyse.

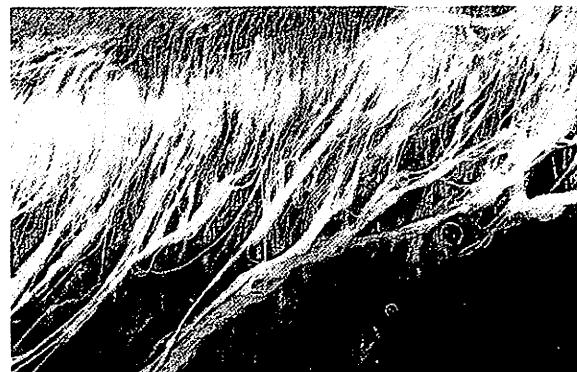
L'hydrogène sulfuré apparaît comme un gaz dissous dans une eau minéralisée en équilibre avec la température du fluide géothermal. Son origine pourrait être organique, résultant d'une fossilisation de la matière vivante, animale ou végétale ayant subi une activité microbiologique anaérobiose en profondeur dans un environnement réducteur. Les composés sulfurés extrêmement diffusibles traversent les formations géologiques poreuses et fissurales [2]. Le coefficient de solubilisation de l'hydrogène sulfuré est élevé : 3,39. A Barèges les concentrations sont comprises en 0,15 et 1,27 mE/l et présentent une répartition très inégale selon les sources. Une dilution par les eaux superficielles est probable.

## CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La chaîne des Pyrénées s'est édifiée en plusieurs phases successives.

La première se situe dans le contexte de la chaîne hercynienne, épisode qui a développé des plissements sur toute l'Europe et notamment le long de l'axe pyrénéen.

Les études consacrées à la tectonique des plaques ces dix dernières années apportent des éléments d'interprétation originaux : le golfe de Gascogne résulte de la séparation des Caps Finistères breton et ibérique. Le mouvement de rotation qui a marqué l'évolution de cette séparation a eu pour conséquence un puissant effort de compression appliqué au centre des Pyrénées hercyniennes. La dorsale granitique s'est morcelée et fracturée ; les différents blocs se sont surélevés. A proximité du Pic du Midi qui se trouve au pivot du mouvement, le massif de Néouvielle, proche de Barèges est parfaitement intégré dans le cadre régional.



### Le gisement producteur

En prenant pour base de raisonnement la température de la source la plus élevée et en calculant la profondeur du gisement en fonction du gradient géothermal standard, il apparaît que l'aquifère se situerait à plus de 1 250 m de profondeur [2].

Le circuit, ruissellement-infiltration-circulation suivi d'un retour à l'air libre, se fait dans les conditions d'un climat montagnard aux saisons contrastées comportant de longues périodes sans précipitation, suivies de pluies copieuses et de leur rétention sous forme de neige ou de glace.

Ces conditions climatiques impliquent la nécessité d'un stockage important, le débit restant constant à la sortie du circuit thermal. Au plan local, la présence des sources s'explique par l'existence de plusieurs failles accompagnées d'un cortège de fractures qui facilitent la remontée des eaux souterraines.

## RECHERCHES PERSONNELLES

Le travail entrepris est tout spécialement orienté vers les sulfobactéries.

Les sulfuraires se subdivisent en quatre groupes [1]

Trois sont pigmentés :

- rouge : *Athiorodobactéries*, *Rhodothiobactéries*,
- vert : *Chlorobactéries*.

Les *Leucothiobactéries*, pour leur part, dépourvues de pigment, sont prises en considération ici.

### Habitat

A Barèges, les bactéries se développent dans l'eau. Elles se fixent sur un support minéral ou végétal présent dans le courant. Aucune préférence dans le choix du substrat n'a pu être constatée à condition que la surface soit rugueuse.

Une forme de survie hors d'eau est possible. Lorsque la source s'écoule avec turbulence, les éclaboussures

Fig. 1. – De longs filaments blancs colonisent les parois d'un collecteur recueillant le trop-plein des eaux thermales (Photo H. Hédoïn).

permettent une dissémination limitée sur les roches et la végétation des lieux humides : des touffes de roseaux, des herbes... peuvent être enduites d'un revêtement cotonneux blanc.

Cependant la vitesse d'écoulement intervient sur l'apparence des bactéries.

### Morphologie des sulfuraires

Dans les courants d'eau réguliers et importants (forage de Barzun), les micro-organismes se présentent sous forme de filaments blancs de quelques mm à quelques cm de longueur pour un diamètre de 0,1 mm environ. Seule, une couche mince d'un blanc éclatant se développe.

Lorsque le courant est plus irrégulier (cas des canalisations et prises d'eau desservant les baignoires, qui enregistrent dans la matinée et l'après-midi des écarts importants de débit) les bactéries s'organisent en plusieurs couches :

- à la surface, de longs ligaments d'un blanc laiteux atteignent une longueur de 40 cm (fig. 1),
- en profondeur, la couleur est noire et l'aspect bourbeux.

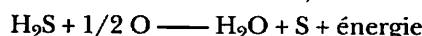
Sur les plages faiblement arrosées, se développe un mucilage important, sorte d'amas blanchâtre visqueux. Les quelques bactéries présentes sont noyées dans cette glaire massive.

### Métabolisme

Ce domaine est encore à explorer.

Les sulfuraires respirent : elles consomment l'oxygène atmosphérique qui se dissout dans l'eau à l'interface air/eau.

A cette occasion, elles oxyderaient, selon Winogradsky [5, 6], le soufre apporté par l'hydrogène sulfuré dissous dans l'eau thermale, selon la réaction :



Les bactéries se développent indifféremment à la lumière et à l'obscurité. La réaction d'oxydation du soufre semble seule nécessaire à satisfaire leurs besoins énergétiques.

## Microscopie

Les micro-organismes étudiés ici, ont été prélevés à Barzun en avril et octobre 1989, à l'aide de récipients remplis aux deux tiers seulement, afin de permettre leur oxygénation.

### Microscopie photonique

L'examen des échantillons frais entre lame et lamelle constitue une étape préliminaire. Aux faibles grossissements, on observe un enchevêtrement d'éléments en chapelets emprisonnés quelques filaments courts réunis en forme d'étoile. Ces longs filaments correspondent à ceux visibles à l'œil nu ;

Aux plus forts grossissements, les bactéries apparaissent faites d'une succession unisériée d'éléments semblables. Le cytoplasme contient de nombreux globules volumineux à contenu très réfringent.

Quelques micro-organismes non filamenteux de taille inférieure sont également observés mais leur présence est rare. Il s'agit d'une flore commensale.

### Microscopie électronique

Les échantillons destinés à la microscopie électronique à transmission ont été fixés dans une solution de glutaraldéhyde à 2,5 p. cent pendant deux heures à 4°C. Ils ont subi une post-fixation au tétroxide d'osmium à 4 p. cent (2 h à 4°C) suivie d'une déshydratation dans l'acétone. L'inclusion a été faite dans le Spurr et de l'acétate d'uranyl à 2 p. cent (2 h, 4°C) a été utilisé pour la coloration.

Les coupes fines ont été traitées au citrate de plomb 4 p. cent (5 min, 25°C).

Les photographies ont été obtenues avec le microscope Philips ME 301 du Laboratoire de Biologie Cellulaire de la Faculté de Pharmacie, Université de Paris XI.

Les échantillons destinés à la microscopie électronique à balayage fixés aussi à la glutaraldéhyde à 2,5 p. cent, et déshydratés à l'alcool, ont subi une dessication par la méthode du point critique à l'aide du dioxyde de carbone liquide. Métallisés ensuite à l'or et au palladium, ils ont été observés sur le microscope Jeol JSM 840 A du service commun des laboratoires des

Sciences de la Vie du Muséum National d'Histoire Naturelle.

## Résultats

Deux types de micro-organismes sont prédominants : des formes filamenteuses, principalement, et des micro-sphères.

Quelques micro-organismes commensaux sont aussi présents : diatomées... (fig. 3).

### *Microscopie électronique à balayage*

#### *Formes filamenteuses*

Il s'agit de filaments unisériés cylindriques, étroitement enchevêtrés (fig. 2 et 3), constitués d'éléments tous semblables enveloppés dans une gaine mucilagineuse.

Le filament complet peut atteindre 10 µm de longueur pour un diamètre moyen de 0,8 µm.

L'enchevêtrement des filaments peut former des sortes de « cordages » (fig. 4) de plusieurs microns de longueur, ou s'assembler pour constituer un stroma (fig. 2) ; le réseau filamenteux passe d'un type d'organisation à l'autre, indiquant une similarité du matériel.

#### *Microsphère*

Ces structures ont un diamètre moyen de 0,2 µm. Ils sont accolés aux bactéries ou se regroupent pour former des amas d'un diamètre pouvant aller jusqu'à 2 µm de diamètre (fig. 5).

### *Microscopie électronique à transmission*

#### *Formes filamenteuses*

Les filaments bactériens sont enveloppés sur toute leur longueur dans une gaine mucilagineuse d'aspect lisse ou chevelu pouvant mesurer jusqu'à 0,25 µm d'épaisseur.

La bactérie est limitée par une paroi et une membrane cytoplasmique (fig. 6).

Le cytoplasme renferme de nombreux globules volumineux de section circulaire, à contenu homogène peu dense aux électrons, visibles dans les cellules des filaments. Leur diamètre est compris entre 0,3 et 0,7 µm. Leur membrane est entourée d'une couronne de cytoplasme très granuleuse (fig. 6).

#### *Microsphères*

Des microsphères sont présentes dans certaines bactéries ou à leur proximité. D'un diamètre moyen de 0,02 µm, elles pullulent parfois à l'intérieur du cytoplasme (fig. 7).

A l'extérieur des cellules bactériennes on peut observer des vésicules polyédriques dont le diamètre peut atteindre 0,2 µm. Certaines semblent reliées aux bactéries par un pédicelle. Ces vésicules très denses aux électrons sont toujours disposées autour de bactéries apparemment lésées.

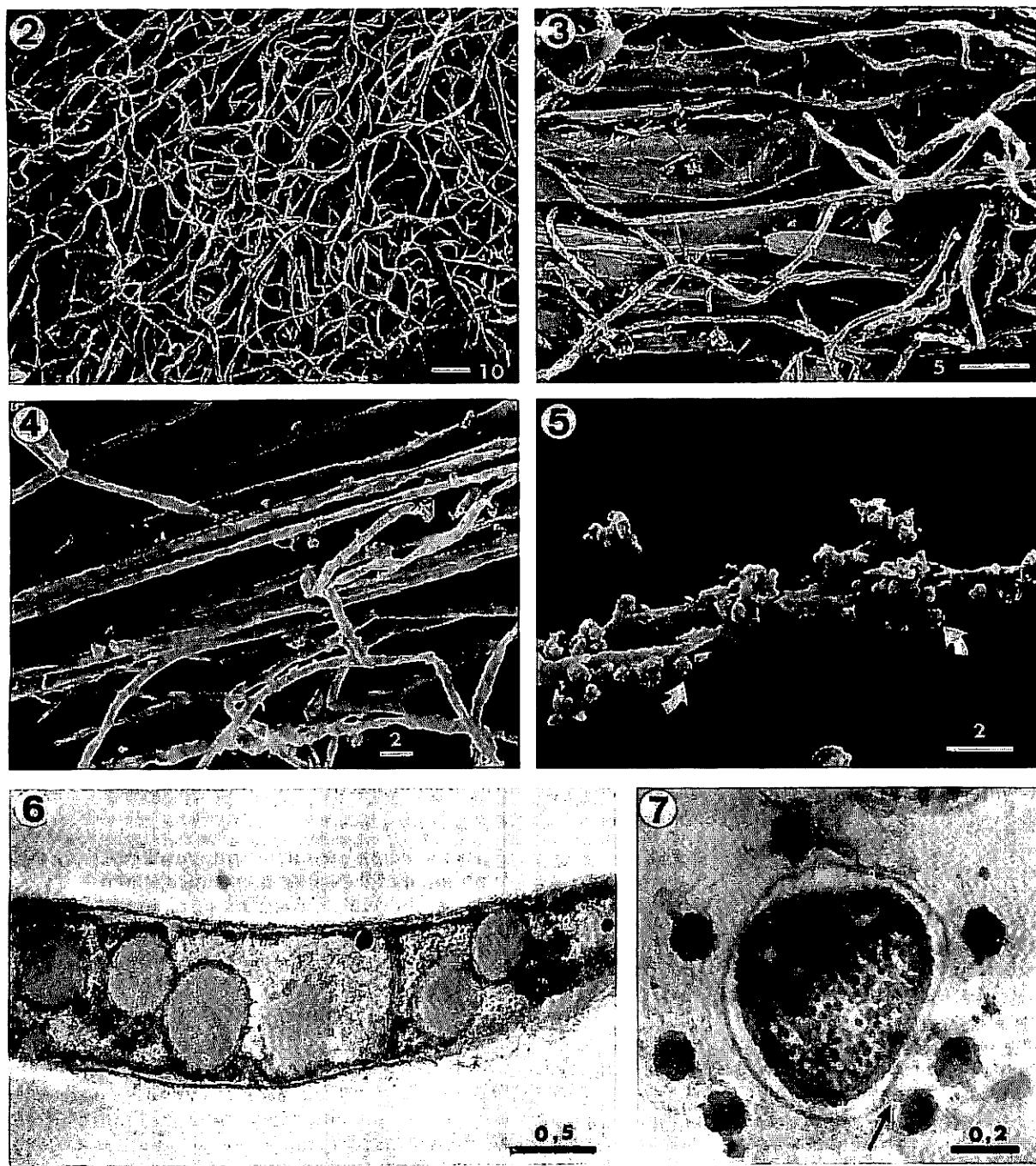


Fig. 2. – MEB. enchevêtrement de filaments bactériens formant un stroma.

Fig. 3. – MEB. bactéries filamenteuses fixées sur le substrat, ici des brins d'herbe ; une diatomée est visible (flèche).

Fig. 4. – MEB. assemblage de bactéries formant un « cordage » de plusieurs dizaines de microns de largeur.

Fig. 5. – MEB. Microsphères (flèches) regroupées en amas le long des bactéries.

Fig. 6. – MET. bactérie filamenteuse enveloppée dans une gaine mucilagineuse montrant des globules volumineux (coupe longitudinale).

Fig. 7. – MET. microsphères présentes dans une bactérie (coupée transversalement) entourée de vésicules polyédriques. Noter la présence de pédicelles (flèche) reliant les vésicules aux bactéries.

Pour les figures 3 à 7, les valeurs des échelles sont exprimées en microns ( $= 1,10^{-6}$  mm).

## DISCUSSION

La Barégine correspond à un développement spontané de sulfobactéries qui envahissent un milieu favorable abritant éventuellement d'autres espèces. Elles prolifèrent dans une aire restreinte autour de l'émetteur géothermal sulfuré.

Sur les différents points d'eau exploités à Barèges, les mêmes formes sont observées aux mêmes périodes.

La fonction et la composition des globules des sulfobactéries sont encore inconnues. Jusqu'alors, les auteurs [1, 7] supposaient qu'ils étaient remplis de soufre sous forme élémentaire. Cette hypothèse n'a jamais été confirmée par les méthodes colorimétriques ou par des méthodes de microscopie électronique.

Le soufre, composé qui interagit avec de nombreuses molécules, disparaît au cours de la fixation ; de ce fait avec les méthodes actuelles il est difficilement observable.

Les microsphères observées dans certaines cellules sont selon toute vraisemblance des structures visibles lorsqu'elles sont très nombreuses dans une même cellule, les organites de celle-ci semblent plus ou moins

dégradés. Elles pourraient donc avoir une incidence sur l'état physiologique des sulfobactéries hôtes et intervenir comme facteur limitant de la pullulation de ces dernières.

## CONCLUSIONS

Après une époque de recherches intensives (fin XVIII<sup>e</sup> – début XX<sup>e</sup> siècle) [4-6], les bactéries du soufre ont sombré dans l'oubli pendant plus de cinquante ans, du fait notamment de la difficulté de les cultiver *in vitro*.

Depuis quelques années, le renouveau du thermalisme contribue à les faire sortir de l'ombre.

Elles présentent un intérêt majeur : celui de concentrer le soufre issu de l'hydrogène sulfuré en un composé plus stable.

La quantification du soufre dans les bactéries et la détermination de sa valeur thérapeutique sous cette forme est l'un des aspects prioritaires de notre recherche.

## RÉFÉRENCES

1. Bourrelly P. – Les sulfobactéries. *R. Algologique*, 1954, 1, 208-233.
2. DIRE I. – Les eaux thermales de Barèges et les sulfobactéries associées. Thèse Université Paris-XI, 1989, n° 182/86.
3. Lonchamps. – *Note sur les eaux de Barèges, Cauterets et Saint-Sauveur*, 1824.
4. Rivière-Chalan V. – *Histoire des bains de Barèges et de Luz-Saint-Sauveur*, Paris, 1980.
5. Winogradsky S. – Sur les bactéries sulfureuses. *Ann. Inst. Pasteur*, 1887, 1.
6. Winogradsky S. – *Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Bakterien. Heft 1. Zur Morphologie und Physiologie dre Schweißbakterien*. Leipzig, Felix, 1888. Republié : Winogradsky S., *Contribution à la morphologie et physiologie des sulfobactéries*. In : *Microbiologie du sol*, pp. 83-126. Paris, Masson, 1949.
7. Winogradsky S. – Recherches physiologiques sur les sulfobactéries. *Ann. Inst. Pasteur*, 1889, 3.



# Energiegewinnung aus Thermal-Mineral-Quellwasser unter besonderer Berücksichtigung des Schutzes der Umwelt und der Ressourcen in Bad Aidipsos, Zentral-Griechenland

C. GARAGUNIS \*, O. TACK\*\*

(Athens)

## RÉSUMÉ

**Utilisation de l'énergie des sources géothermales et protection des sources contre une surexploitation. Exemple de Bad Ai (Grèce).** – Les nombreuses îles de la Mer Egée sont d'origine volcanique. Il ne serait pas raisonnable de construire un centre de cure thermale sur chaque île. L'utilisation de l'énergie géothermique est peu coûteuse et inoffensive pour l'environnement.

**Mots clés :** Eaux thermales souterraines – Géothermie – Energie – Grèce – Iles de la Mer Egée.

Der Kurort Bad Aidipsos (= Edipsos) im Nordenwesten der Insel Euboea ist schon seit der Antike wegen seiner berühmten Heilquellen bekannt (fig. 1).

In der Antike versuchte schon Aristoteles den Grund für das Auftreten der Thermalwässer hier zu finden, Plutarch beschrieb das antike Treiben in diesem Badeort und Strabo gab den Quellen den Namen Thermalquellen des Herkules, der hier nach seinen Taten neue Kräfte gewonnen haben soll.

Es gibt hier heute ein modernes Kurzentrum, jedoch wird die Anlage nur in den warmen Monaten genutzt, da für die kalte Jahreszeit, das sind etwa drei Monate, noch nicht genügend geheizte Hotelbetten zur Verfügung stehen.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die zahlreichen Inseln des ägäischen Meers sind vulkanisch. Ein Thermabau in jedem Insel ist irrational. Billig und Umweltfreundlich ist die Anwendung der Geothermalkraft.

**Schlüsselwort :** Griechenland – Ägäische Insel – Mineralgrundwasser – Geothermische Energie.

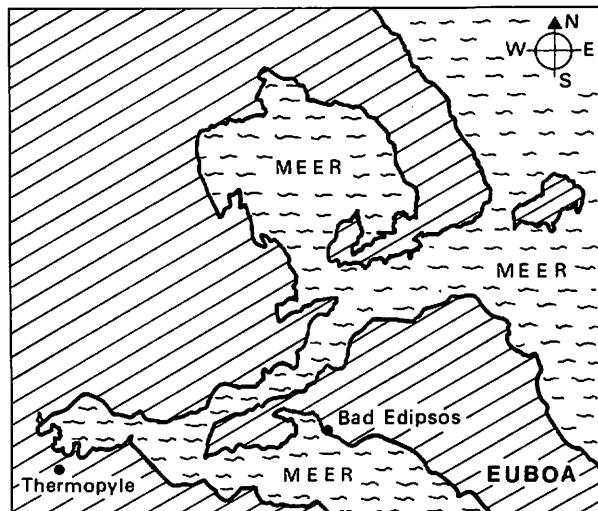


Abb. 1. – Geographische Lage des Bades Edipsos.

\* Pr. Dr. habil. C. Garagunis, National Technical University of Athens, Department of Mining and Metallurgical Engineering, Section of Geological Sciences ; Patission st. 42 ; GR 106 82 ATHENS Greece.

\*\* O. Tack, enger Mitarbeiter.

Mitarbeiterin : Evangelia Karyofylle, Aikaterine Mavridou, Maria Psoma, Tu-Athen und Evangelia Cavalaro-Karagouni.

Separate : Pr. C. Garagunis, adresse ci-dessus.

Journées Internationales sur le Thermalisme aux Antilles, Guadeloupe, 10-12 décembre 1990 ; Martinique, 13-15 décembre 1990.

In dieser Arbeit sollen daher Vorschläge zu einem Ausbau für die Wintermonate gemacht werden, wobei jedoch besonders der Schutz der natürlichen Ressourcen und der Umwelt zu beachten ist, dabei soll hier aus der Thermal-Mineralwässern Energie gewonnen werden.

## DER EINSATZ MODERNER WAERMEAUSTAUSCHER UND WAERMEPUMPEN

Um das moderne Kurzentrum von Bad Aidipsos auch in der kuehlen Jahreszeit nutzen zu koennen, bietet sich das Thermalwasser als umweltfreundliche Energiequelle an, wobei jedoch auf einen schonenden Umgang mit den natuerlichen Ressourcen zu achten ist. Heutzutage steht fest, dass die Energiequelle Erdwaerme bei geeigneter Nutzung einen grossen Anteil des weltweiten Energiebedarfs zu decken vermag. Bis vor kurzem noch neigte man hierbei dazu, das Hauptinteresse auf die Erzeugung elektrischer Energie, als der am einfachsten zu richten. Thermalquellen mit niedriger Temperatur nutzte man dementsprechend nur fuer Thermalbaeder.

Moderne Waermeaustauscher erschliessen jedoch auch bei Thermalquellen mit niedriger Temperatur die wirtschaftlich besonders interessante und wegen des hohen Waermebedarfs bislang schwierige Moeglichkeit der Beheizung von Wohnraeumen und der Warmwassergewinnung, neben der Moeglichkeit, die Energie fuer die Landwirtschaft (Treibhaeuser und Viehzucht) zu nutzen.

Folgende Faktoren sind dabei zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit fuer Bad Aidipsos von Interesse:

- die Temperatur des Thermalwassers an der Quelle,
- die Menge des zur Verfuegung stehenden Thermalwassers,
- die Entfernung zwischen Energiequelle und Verbraucher,
- der maximale Energiebedarf,
- der Zeitraum des Energiebedarfs,
- die einmaligen und laufenden Kosten der Waermetauscher-station (hierbei denke man an den Ersatz der Waermetauscher und/oder Waermepumpen nach Versinterung oder Korrosion),
- der Wirkungsgrad der Waermeaustauscher/Waermepumpen,
- die Lebensdauer einer Bohrung nach Thermalwasser/ Quellfassung (Sinterbildung, Korrosion),
- Anfallende Kosten zur umweltgerechten Beseitigung der genutzten Thermalwaesser.

### INSGESAMT KANN MAN JE NACH TEMPERATUR DES THERMALWASSERS MEHRERE ARTEN DER ENERGIEGEWINNUNG UNTERSCHEIDEN

- ueber Waermetauscher,
  - ueber Waermetauscher und Waermepumpe,
  - ueber Wearmepumpen,
- steht das Thermalwasser unter hohem Druck, kann noch eine Turbine zur Stromerzeugung vorgeschaltet werden.

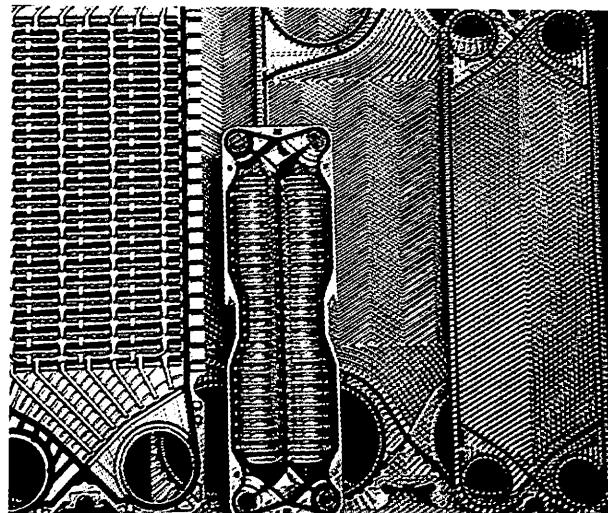


Abb. 2. – Verschieden grosse Lamellen fuer einen Lamellen-Waerme-Austauscher aus 99.99 % igem Titan, nach Unterlagen der Firma GEA AHLBORN aus der BR-Deutschland.

Die heutzutage verwendeten Heizungssysteme arbeiten in dem Temperaturbereich von 90-41 C, wobei die Heizkoerper in dem Temperaturbereich von 90-70 C betrieben werden, waehrend die Fussbodenheizungen in dem Bereich von 55-41 C arbeiten.

Um die beste Funktion eines Fernheizungssystems zu garantieren, muss man mit unterschiedlichen Temperaturen, je nach Aussentemperatur arbeiten, ausserdem sind bei hohen Gebaeuden oder starkem morphologischem Relief spezielle Druckausgleichsstationen notwending.

### ES GIBT ZWEI TYPEN VON WAERMEAUSTAUSCHERN

- Rohraustauscher.
- Lamellenaustauscher (fig. 2 et 3).

Aus der Praxis sind die ersten die ueblicheren, da sie hohem Druck standhalten und bei Betrieb mit Nicht-Thermalwaessern billiger sind und einen hohen Selbstreinigungsgrad haben, allerdings ist die Energieausbeute nicht so hoch, wie bei den Lamellenaustauschern.

Die Lamellenaustauscher dagegen haben einen hohen Grad der Waermeabgabe, beanspruchen wenig Platz, muessen nicht geschweisst werden und sind damit weniger korrosionssanfaellig. Als einziger Nachteil ist nur die Funktionschwaeche bei sehr hohem Druck zu erwähnen, was aufgrund unserer Untersuchungen in Bad Aidipsos nicht der Fall ist.

Die Gegenueberstellung zeigt eindeutig, dass ein Lamellenaustauscher fuer die aggressiven Thermalwaesser anzuwenden ist (fig. 4).

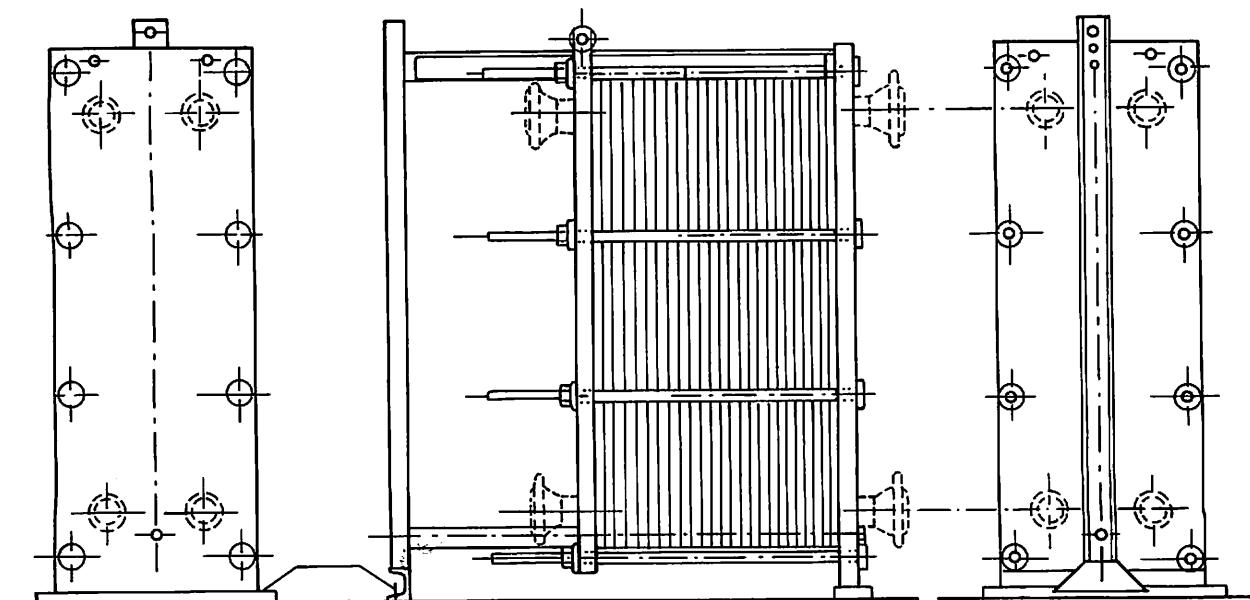


Abb. 3. – Zeichnung zum Lamellen waermeaustauscher fuer Bad Aidipsos.

Natuerlich muessen spezielle Metalle und Verfahren aufgrund der bekannten Korrosions und Versinterungsprobleme verwendet werden. In Bad Aidipsos liegen zt einer erfolgreichen Loesung schon einige Jahre positiver praktischer Erfahrungen vor. Hier wird zur Beheizung der Raueme des Bades und des Trinkwassers, das fuer die direkte Anwendung zu heisse Thermalwasser etwas abgekuehlt. Dieser Vorgang geschieht an einem aus Titan-Lamellen bestehenden Waermeaustauscher mit dem Patent der westdeutschen Firma Gea Ahlborn.

### EINSATZ UNTER DEN OERTLICHEN GEGEBENHEITEN UND ANFORDERUNGEN

Damit nun die Hotels des Ortes in Winter geheizte Zimmer den Gaesten bieten koennen, ohne dass die Umwelt und Grundlage des Bades durch verstaeerkte Verwendung fossiler Brennstoffe oder die Ueberschreitung der Kapazitaet der Thermalquellen geschaedigt wird, musste zunaechst alles durchgerechnet werden (fig. 5).

Zu dieser Rechung waehlten wir die vier grossen Thermalquellen aus. Deren Temperaturspanne liegt in dem Bereich 74-84 C, die Durchschnittstemperatur dieser Quellen betraegt 79 C und ihre Gesamtschettung 140 m<sup>3</sup>/h.

Die daraus resultierende Waermeleistung genuegt, um neben den 10 groessten Hotels und dem Kurzen-

trum auch das Rathaus und die Grundschule zu beheizen. Da diese Gebaeude bereits Heizkoerper besitzen, entfaellt sogar deren Installation.

Aufgrund der Art dieses Fernwaermenetzes muss der noetige Titan-Waermeaustauscher eine Oberflaeche von 120 m<sup>2</sup> haben. Diese Flaeche erreicht man mit 145 Lamellen aus 99,99 % igem Titan. Damit wird der Austauscher etwa 2,8 m lang sein und etwa 2 Tonnen wiegen. Waermepumpen sind nicht noetig. Das Thermalwasser wird unter dem natuerlichen CO<sub>2</sub>-Druck stehen, wodurch eine Sinterbildung im Waermeaustauscher verhindert wird. Dieses Verfahren wurde auch in dem bislang in Bad Aidipsos betriebenen Waermeaustauscher mit Erfolg angewendet. Auf diese Weise wird auch die Versinterung der an den Quellen noetigen Pumpen verhindert. Diese Pumpen dienen nur zur Bewahrung des Druckes waehrend des Transportes der Waesser und nicht etwa zum Herauspumpen, da dieses nach unseren Untersuchungen nicht erforderlich ist. Es wird auch schon dadurch dass nichts herausgepumpt wird einer Ueberlastung vorgebeugt.

Zum Transport der Thermal-Mineralwaesser haben sich als besonders guenstig spezielle Glasfiber-Rohre erwiesen. Die Rohre und Waermeaustauscher muesen importiert werden. Der Austauscher wird rund 7 000 000 DRS (= c.a. 78 000 DM) und die Rohre 1 000 DRS (= c.a. 11,50 DM<sup>o</sup> pro Meter kosten. Die Preise und Wechselkurse stammen aus der Zeit unserer Untersuchungen, 1989, und koennen sich veraendert haben.

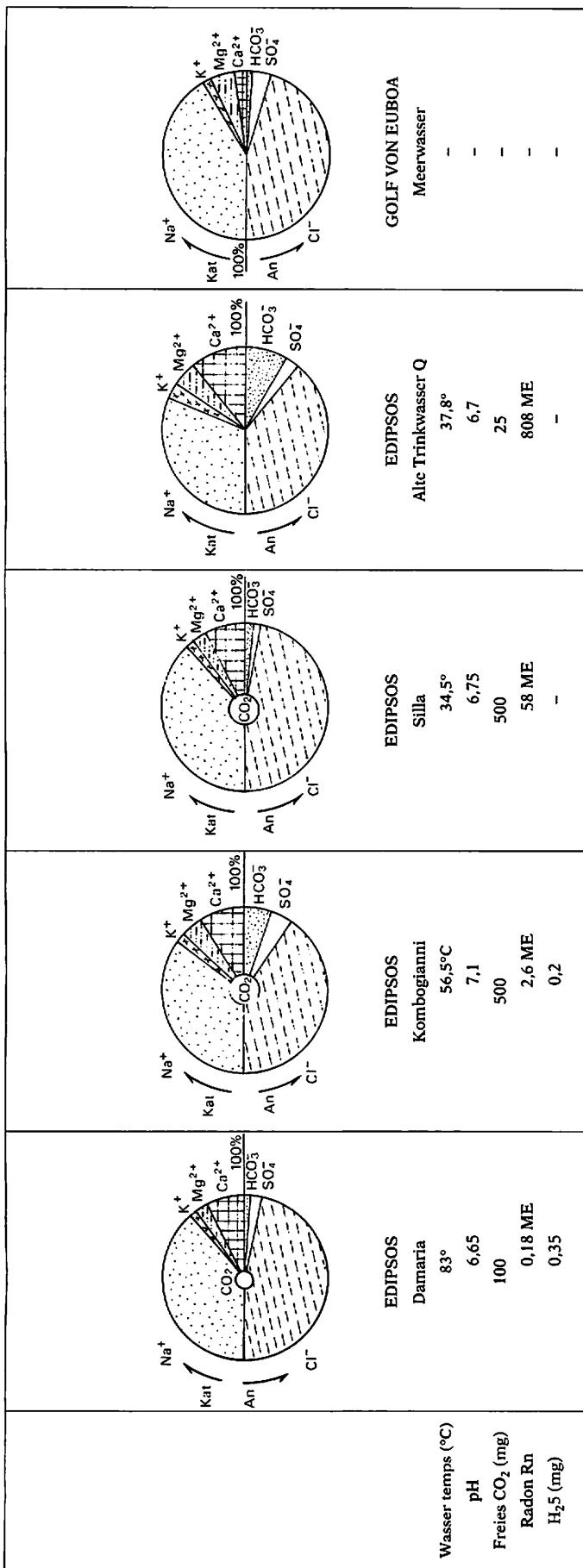


Abb. 4. - Chemische Analyse der Quellwasser und im Vergleich dazu des Meerwassers, ganz rechts. Es wird deutlich, dass der Chemismus der Thermal-Mineralwasser denn des Meerwassers sehr aehnlich ist.

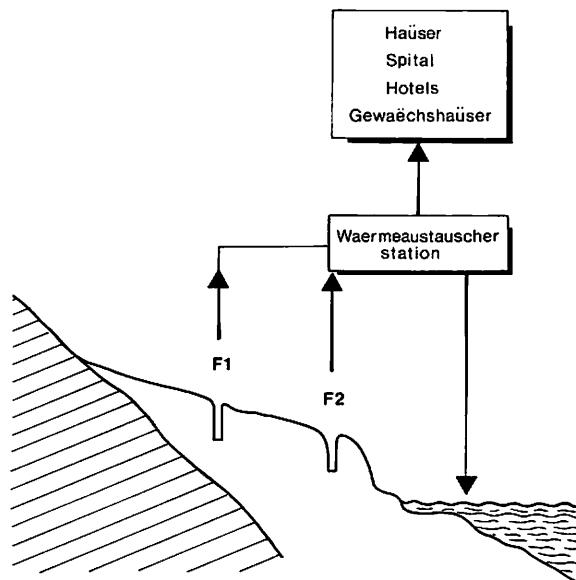


Abb. 5. – Geologisches Profil und Nutzungsschema fuer Bad Aidipsos.

## UMWELTSCHUTZ UND SCHUTZ DER RESSOURCEN

Die Entsorgung des abgekuehlten Thermalwassers gestaltet sich denkbar einfach. Aufgrund seines dem Meerwasser aehnlichen Chemismus kann es ohne Bedenken, ins Meer geleitet werden. Dabei sei fuer

Skeptiker erwaeahnt, dass hier schon sei Jahrtausenden dieses Wasser ins Meer fliesst. Eine Verpressung in den Untergrund entfaellt also.

Es ergibt sich aber noch ein weiterer interessanter Gesichtspunkt: Nicht nur die bereits erwaeahnten Gebaeude koennen mit der Kapazitaet der Quellen beheizt werden, sonderne es ist moeglich, die ganze Stadt mit der Waerme des Thermalwasser zu beheizen. Damit koennen grosse Mengen an fossilen Brennstoffen (Oel, Gas, Kohle), hier meist Oel, eingespart werden, und durch die Einsparung der dafuer noetigen Deisen, leicht die Waermeaustauscher und Rohre bezahlt werden. Dadurch dass der Hausbrand wegfaellt, wird ein entscheidender Schritt zur Reinhaltung der Luft getan, andererseits werden die Thermalquellen nicht ueber Ihre Kapazitaet genutzt, dodass eine ungewollte Ernidrigung der Temperatur oder eine Verschlechterung der Heilwirkung ausbleibt.

## SCHLUSSWORT

Die Ausgaben fuer Heizkosten werden fuer die Einwohner von Bad Aidipsos sinken, die Umwelt und Ressorucen werden geschont und dadurch, dass das Kurbad auch im Winter betrieben werden kann, werden neue Arbeitsplaetze geschaffen.

Das gleiche technische Verfahren koennen wir in Bad Kamena Vourla, hier mit dem Einsatz von Waermepumpen, in Bad Sidero-kastro, Bad Eleftherea, Bad Thermopylen, Bad Methana und Bad Kaiafa, auf den Inseln Lesbos, Ikaria, Nisyros, Milos, Kimolos und Santorin und bei anderen interessanten Thermalquellen in Griechenland, sowie in vielen anderen Laendern mit Erfolg anwenden.

## ORIENTIERUNGSLITERATUR

1. Agence française pour la maitrise de l'énergie (AFME). – *La filière géothermique. Premier bilan. Evaluation technico-économique de la géothermie basse énergie en France.* 2<sup>e</sup> éd., Paris, AFME, 1987.
2. Armstead H.C.H. – *Geothermal energy*, 2<sup>nd</sup> ed., New York : E. & F.N. Spon, 1983.
3. Augustides. – *Geologia*, Athen.
4. Bender F. (Hrsg.). – *Angewandte Geowissenschaften*, Bd. 2, Stuttgart, Enke, 1985.
5. Comission of the European Communities (EEC). – *Geothermal Urban Heating at Pessac Demonstration Project*, Leaflet N° 26, 1985.
6. Einarsson S.S. – *Geothermal district heating* ; in : *Geothermal Energy*, Paris, UNESCO, 1973.
7. Garagunis C. – Hydrogeologische Untersuchungen der Thermal- und Mineralquellen im oestlichen Mittelgriechenland. Habilitationschrift. In : *Steirische Beitraege zur Hydrogeologie*/30/Seiten 5-82, Graz, 1978.
8. Garagunis C. – Technische Probleme bei der Nutzung der gas-fuehrenden Thermen in Bad Edipsos/Griechenland, in : Brunnenbau, Bau von Wasserwerken, Rohrleitungsbau (bbr) 12/1980.
9. Garagunis C., Karagounis M. – *Geographic and Hydrogeo-Tectonic Elements of Some Important Thermal Spas of Greece*.
10. Athens, in : 7<sup>e</sup> Giornate mondiali del thermalismo e conferenza permanente dell O.M.Th. Verona, 22-25 Maggio, 1987.
11. Garagunis C., Papaspyrou S. – Die Problematik der Fundamentierung von Gebaeuden in Gebieten mit aggressiven geothermalen Waessern. In : *Mitt. Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Hamburg*, Heft 51, S.209-214, Hamburg, 12/1989.
12. Geochaleur. – Geothermie Avant Project Sommaire, Internal Report, Garges les Gonesse, 1982.
13. Guilmundsson J.S. – Direct uses of geothermal energy in 1984. *Geoth. Resources Council Annual Meeting and Int. Symp.*, Kailua Kona Hawaii, Aug. 26-30, 1985.

14. Lease R. – *Integration of hydrothermal energy economics related quantitative studies*, 1982.
15. Pitts D.R., Sisom L.E. – *Theory and Problems in Heat Transfer*, New York, McGraw-Hill, 1977.
16. Reed M.J. (ed.). – Assessment of low temperature geothermal resources in the United States, 1982, *US Geological Survey Circular*, 1983, 892.
17. Saaty J.P. et al. – Lifetime optimization of low enthalpy geothermal doublets. In Strub A., Ungemach P. : *Advances in European Geothermal Research*, pp. 706-719, Dordrecht, The Netherlands, D. Reidel Publ. Co., 1980.
18. Ungemach P. – Endomanagement des puits géothermiques du Bassin Parisien. Causes. Remèdes curatifs et préventifs. Contrat CCE-DG XII-EN3G 0101 F (CH), Bruxelles, 1989.
19. Winje D., T.TH.B. – *District heating experience in Europe. Report prepared for the Commission of the European Communities*, 1986.



## **LISTE DES TRAVAUX PRÉSENTÉS AUX JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LE THERMALISME AUX ANTILLES NON PUBLIÉS DANS CE NUMÉRO**

- Propriétés thérapeutiques connues des eaux thermo-minérales de la Guadeloupe, par P. Lamizana-Tamby.
- Leçons à tirer des différentes missions médicales et thermales effectuées aux Antilles durant les dernières décennies, par G. Girault.
- La balnéothérapie dans le traitement des psoriasis à Matouba-Papaye, par M. Carthame.
- Apport du « Zeb Chawpentié » dans le drainage lympho-veineux en crénothérapie, par H. Joseph, P. Sainte-Luce.
- Thermalisme et sophrologie, ou la cure dans la cure, par A.M. Pansiot-Villon.
- Stratégie de création, de recherche et de développement d'une station thermale, par L. Garreau, B. Garreau-Gomez.
- La Bourboule, asthme infantile et crénothérapie. Exposé appuyé par une série de diapositives, par M. Fourot-Bauzon.
- Les indications thermales en pathologie veineuse, par Ch. Garreau, R. Garreau-Gomez, J.M. Doumenjou.
- Les aspects et les données économiques du Thermalisme, par F.H. Fortune.
- Effets d'un aérosol sonique d'eau thermale, dans le traitement des voies aériennes supérieures chez l'enfant, par M. Fourot-Bauzon, P. Perrin, M. Bedu.
- Efficacité des cures thermales dans le traitement des affections rhumatismales chroniques. Notions nouvelles sur l'intérêt des eaux sulfurées et de la Dignine. Chondrostimulation thermale ? par P. Frezet.

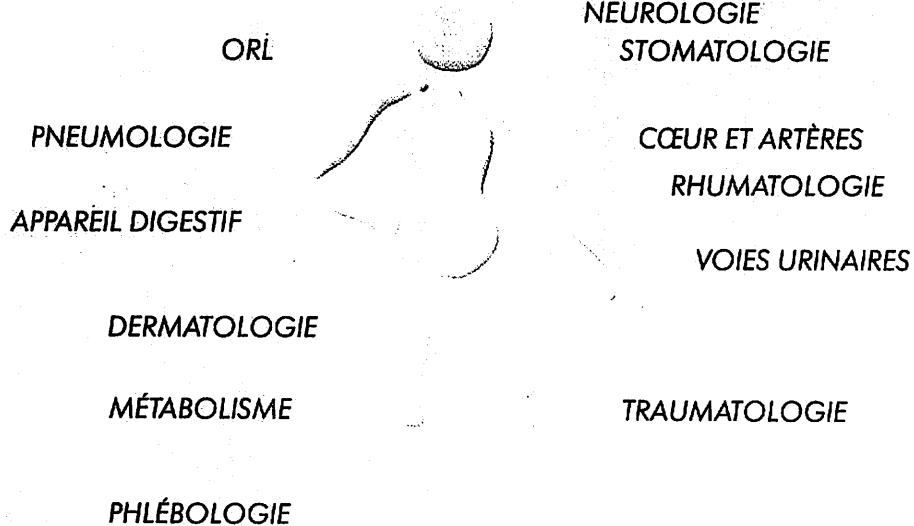
---

Le travail du Docteur R. Jean « Traitement thermal de la polypose naso-sinusienne à Allevard » n'a pas été porté à la connaissance du Comité de Lecture qui n'a donc pas pu se prononcer.



### **REPERTOIRE DES ANNONCEURS**

Eurothermes, Une santé de printemps, p. VI. – Expansion Scientifique Française, Bourbon-l'Archambault, 2<sup>e</sup> de couv. – Expansion Scientifique Française, L'eau et les maladies nerveuses, p. IV. – Maison du Thermalisme, Stations thermales, 4<sup>e</sup> de couv.



**Quand nous affirmons que le thermalisme est  
un traitement efficace, nous pouvons citer nos sources.**

CAMBO-LES-BAINS. BARBOTAN-LES-THERMES. LE BOULOU.  
GREOUX-LES-BAINS. BAINS-LES-BAINS. LA PRESTE-LES-BAINS.  
SAINT-LAURENT-LES-BAINS. EUGENIE-LES-BAINS.  
JONZAC. LAMALOU-LES-BAINS. MOLITG-LES-BAINS.  
AMELIE-LES-BAINS. SAINT-CHRISTAU.

**Nous prenons soin de la cure de vos patients.**

32, avenue de l'Opéra - 75002 Paris - tél. (1) 47 42 67 91