108e Année — N° 3

3e Trimestre 1971

La Presse Thermale et Climatique

l'eau minérale

~~LES JOURNÉES NATIONALES~~

~~DU THERMALISME~~

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

L'EXPANSION
éditeur

JOYAUX DU THERMALISME FRANÇAIS ENTRE OCÉAN ET MÉDITERRANÉE

les stations de détente de la

chaîne thermale du soleil

Stations agréées par la S.S.

BARBOTAN-LES-THERMES **Station de la jambe malade,** circulation veineuse, phlébites, varices. Rhumatismes, sciatiques, traumatologie. Station reconnue d'utilité publique. Avril - Novembre.

EUGÉNIE-LES-BAINS **Colibacillose,** maladies de la nutrition, du tube digestif et des voies urinaires - Obésité, pré-gérontologie. **Rhumatismes** — Avril - Octobre.
Landes

ST-CHRISTAU **Muqueuses, dermatologie, stomatologie**
Basses-Pyrénées Avril - Octobre - Altitude 320 m.

MOLITG-LES-BAINS **Affections de la peau, voies respiratoires,** rhumatismes, obésité, pré-gérontologie. Station-pilote de la relaxation. Climat méditerranéen tempéré. Altitude 450 m. Ouvert toute l'année.
Roussillon

GRÉOUX-LES-BAINS **Rhumatismes, voies respiratoires,** arthroses, traumatologies, arthrites. Altitude 400 m. Climat méditerranéen tempéré. Ouvert toute l'année.
Alpes de Provence

Demandez la documentation sur la station qui vous intéresse à :

MAISON DU THERMALISME 32 Av. de l'Opéra, Paris 2e Tél. 073 67-91 et Société Thermale de chaque station

108e ANNÉE 3e TRIMESTRE 1971 N° 3

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 ARNOUX. — Professeur J. M. BERT. — Professeur Agrégé F. BESANÇON. — Professeur Agrégé CORNET. — Professeur DARNAUD. — Professeur Ch. DEBRAY. — Professeur DELÉPINE, Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine. — Professeur J.-J. DUBARRY. — F. FRANÇON, Membre correspondant de l'Académie de Médecine. — Professeur GIBERTON. — Professeur G. GIRAUD, Membre de l'Académie de Médecine. — Professeur GONIN. — Professeur GRANDPIERRE, Directeur du Centre d'Enseignement et de Recherches de Médecine aéronautique de Paris. — GRISOLLET, Ingénieur en Chef de la Météorologie, Chef du Service d'Etudes Climatiques de la ville de Paris. — Professeur JUSTIN-BESANÇON, Membre de l'Académie de Médecine. — LEPAPE, Professeur au Collège de France. — Professeur RIMATTEI, Membre correspondant de l'Académie de Médecine. — Professeur SANTENOISE. — R. SOYER, Assistant au Muséum National d'Histoire naturelle. — DE TRAVERSE, Chef de Laboratoire Hôpital Cochin. — Professeur R. WAITZ.

COMITÉ DE RÉDACTION :

Rédacteur en chef : **Jean COTTET.** — *Secrétaire général :* **René FLURIN.**

Biologie : P. NEPVEUX. — Veines : J. LOUVEL. — Cœur : A. PITON; Mme Y. BOUCOMONT. — Dermatologie : P. BAILLET. — Hépatologie et Gastro-Entérologie : G. BONNET, H. DANY, J. DE LA TOUR. — Gynécologie : Y. CANEL. — Entérologie : P. VENDRYES. — Médecine sociale : Ch. BERLIOZ. — Neuro-psychiatrie : J.-C. DUBOIS, J. DUCROS, L. VIDART. — Pathologie ostéo-articulaire : A.-C. BÉNITTE, F. FORESTIER, J. FRANÇON. — Pédiatrie : CHAREIRE, M. FONQUERNIE. — Néphrologie et Urologie : J. COTTET, J. FOGLIERINI, P. PRUNIER. — Climatologie : W. JULLIEN. — Voies respiratoires : A. DEBIDOUR, R. FLURIN, P. MOLINÉRY, J. PASSA, E. PERPÈRE, F. CLAUDE.

COMITÉ MÉDICAL DES STATIONS THERMALES :

R. APPERCE, G. EBRARD, G. GODLEWSKY, P. LAOUENAN, A. MATHIEU DE FOSSEY.

SOMMAIRE

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'HYDROLOGIE ET DE CLIMATOLOGIE MÉDICALES

Séance solennelle du mercredi 3 mars 1971

L'EAU MINÉRALE (géologie et physicochimie)

Sous la présidence de Monsieur Louis ARMAND, de l'Académie Française

Programme des travaux 133

Suite du sommaire page III

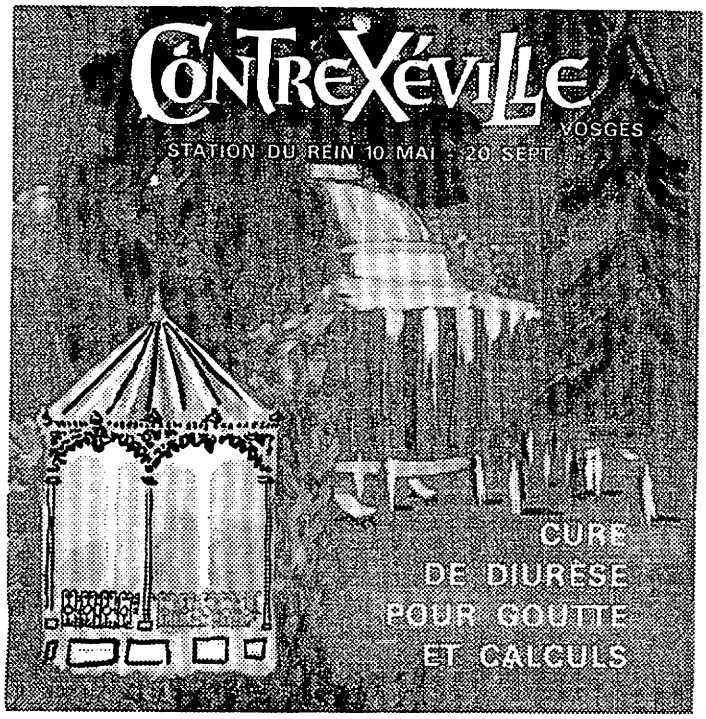
Arginotri-B

COMPRIMÉS DRAGÉIFIÉS

L-arginine chlorhydrate..... 250 mg
Vitamine B 1..... 100 mg
Vitamine B 6..... 100 mg
Hydroxocobalamine..... 250 mcg
par dragée - Flacon de 24 - 6 à 8 par jour
V. NL 1753 — B.S.M. n° 2601 M
Prix : 15,85 F. - Séc. Soc., Art. 115, AMG.

INSUFFISANCES HÉPATIQUES - ALGIES
NEUROLOGIE - TROUBLES NUTRITIONNELS

Laboratoires du Docteur E. BOUCHARA 8, rue Pastourelle, Paris



CONTREXEVILLE

(VOSGES)

LA PLUS DIURÉTIQUE DES EAUX DE DIURÈSE

Les sources de Contrexéville (Pavillon, Légère, Souveraine) sont bien connues depuis deux siècles pour leurs propriétés hautement diurétiques. Elles appartiennent aux groupes sulfaté calcique vosgien. Ce sont des eaux froides (11°) dont le débit pratiquement illimité peut faire face à une demande qui s'accroît sans cesse. La production actuelle est de 100 millions de bouteilles par an. Elle est assurée par la nouvelle usine de 30.000 mètres carrés.

La cure à domicile s'avère très satisfaisante dans la majorité des cas. En effet les procédés ultra-modernes de captage et d'embouteillage de l'eau lui assurent une conservation parfaite et prolongée pour tous les troubles relevant d'une intoxication chronique : obésité, cellulite, arthritisme, vieillissement, avec la source Pavillon de préférence. Un travail récent a en outre démontré l'excellente action préventive de Contrexéville Légère contre l'obésité gravidique et ses séquelles du post-partum.

Il est recommandé de prescrire tous les 3 mois une cure d'un mois de Source Pavillon, à raison de 3 verres matin et soir à jeun, en régime déchloruré. Entre les cures de Pavillon, la Source Légère pourra être utilisée comme eau de table.

La cure à la station sera préconisée surtout aux malades organiques : lithiasiques urinaires et biliaires, goutteux, urémiques, infections urinaires, arthrosiques.

La cure est essentiellement une cure de boisson qui sera complétée par toute la gamme des moyens physiothérapiques dispensés à l'Etablissement Thermal.

La rénovation entreprise depuis cinq ans à la station, la gamme étendue des hôtels, le climat frais, et les magnifiques forêts environnantes, font de Contrexéville un séjour de repos et de relaxation. Il est prudent de conseiller dans la mesure du possible la cure en début et en fin de saison (mai-juin et septembre), la plus grande activité diurétique étant obtenue aux périodes fraîches plus qu'aux grandes chaleurs.

SOMMAIRE
(suite)

Allocution d'accueil, par A. DEBIDOUR 134
In mémoriam : Louis ARMAND, par A. DEBIDOUR 136
Introduction, par Monsieur le Président Louis ARMAND 137

SÉANCE DU MATIN - Président de séance : M. J. GOGUEL

Acquisition de la composition chimique des eaux minérales, par M. LOUVRIER et L. MONITION 141
La température des eaux souterraines, par J. GOGUEL 149
Etude des sources thermominérales à l'aide des méthodes statistiques et isotopiques, par M. LOUVRIER et Y. VUILLAUME 152
Eléments d'hydrogéologie isotopique, par A. MARCE 155

Discussion 162
Le captage des sources minérales, par A. AUBIGNAT 164
Le bassin hydrominéral de Contrexéville, par G. MINOUX 167

Suite du sommaire page V

PROMO 2000

Asthme, Allergies, Affections respiratoires

Les cures thermales du Mont-Dore soignent les "3A"

61 % des malades souffrant d'un "asthme ancien", 69 % souffrant d'un "asthme nouveau" et 81 % d'enfants, ont obtenu des résultats "excellents" ou "bons" après le traitement thermal du Mont-Dore ! (étude statistique présentée aux entretiens de Bichat en 1968, échantillon 300 cas cliniques).

Eau thermale réputée, climat vivifiant (1 050 m), la cure thermale du Mont-Dore est une des premières d'Europe pour l'asthme, les affections et allergies des voies respiratoires, les bronchites chroniques, etc.

Cure thermale du Mont-Dore - Prise en charge par la Sécurité Sociale - 22 Mai/30 Septembre - Informations aux médecins : **Sté Thermale du Mont-Dore,**
63, boulevard Malesherbes - Paris 8e - 522.64.14

AGPP

evian

la grande station du rein
au climat sédatif exceptionnel

station touristique, thermale et climatique

- **tous les plaisirs de l'eau**
  ski nautique - canotage - voile - natation
- **toutes les distractions**
  casino - théâtre - music-hall
- **tous les sports**
  équitation - golf - tennis - pêche
- **établissement thermal ouvert toute l'année**
  cure de détente intégrale - session de 9 jours

Hôtels de toutes catégories - Palais des congrès

Syndicat d'initiative d'Évian - tél. 426-427 - telex nº 31.748

l'apport de l'eau d'evian
en médecine générale

A son extrême pureté bactériologique, l'eau d'evian - source Cachat - joint une incomparable légèreté due à sa minéralisation faible et équilibrée. Sa diffusibilité et son pouvoir diurétique remarquable, en font une eau qui convient à tous, sans jamais être contre-indiquée.

evian

source Cachat

3146

SOMMAIRE

(suite)

SÉANCE DE L'APRÈS-MIDI - Président de séance : Monsieur le Professeur P. DESGREZ

Les eaux de boisson conditionnées, par B. NINARD 182
Chimisme et biochimisme des eaux sulfurées, par A. MORETTE 189

Président de séance : Monsieur le Professeur A. MORETTE

Les matières organiques dans les eaux et dans les agents de balnéothérapie, par G. Van BENEDEN 195
Une méthode nouvelle en hydrologie : la photographie de l'impact des gouttes, par L. RUHLMANN 205
Les données fournies par l'analyse chimique des eaux minérales permettent-elles de prévoir et d'expliquer leur action biologique et thérapeutique ? par P. DESGREZ 208
Discussion générale 214

Fin des communications consacrées à la Séance solennelle du 3 mars 1971 de la Société d'Hydrologie

Remise des prix, par Monsieur le Président Louis ARMAND 218

INFORMATIONS 220

RÉPERTOIRE DES ANNONCEURS

Bouchara - Arginotri, p. I. — Le Boulou - Ets hydrominéral, p. VII. — Bourbonne-les-Bains - L'eau qui guérit les os, 4e couv. — Contrexeville - La plus diurétique, p. II. — Divonne-les-Bains - Station de détente, p. XI. — Evian - La grande station du rein, p. IV. — Excerpta-Medica, p. XII. — Lamalou-les-Bains - Centre thermal, p. VII. — Luchon - Station pilote du thermalisme, p. XI. — Maison du Thermalisme, 2e couv. — Seri - Etudes-conseils, p. V. — Société d'Hydrologie, 3e couv. — Société Thermale du Mont-Dore - Asthme, allergie, p. III. — Specia - Soridermal, p. VI. — Vichy, pp. IX, X.

EXPANSION SCIENTIFIQUE FRANÇAISE, 15, RUE SAINT-BENOIT - PARIS-VIe
Téléphone : 222-21-69 C. C. Postal Paris 370-70

ABONNEMENTS :

LIBRAIRIE DES FACULTÉS DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE
174, Boulevard Saint-Germain --- PARIS-VIe --- 548-54-48

FRANCE : **27** F. — ÉTRANGER : **32** F.
Le numéro : **6,50** F.

ETUDES - CONSEILS TECHNIQUES - COORDINATION
CONSTRUCTION
STATIONS THERMALES ET CLIMATIQUES

SERI
RENAULT ENGINEERING
B.P. 37 - 92-RUEIL - tél. 967 61-00 - poste 663

F 477

Soridermal

crème à 5 p. 100 d'acide métiazinique

une thérapeutique rationnelle et maniable de l'inflammation locale :

rapidité d'action antalgique
proportion élevée (76 %) de succès thérapeutiques
excellente tolérance locale *
parfaite commodité d'emploi
(excipient hydro-dispersible, consistance onctueuse, ne tachant pas)

* sous réserve d'en proscrire l'application sur les muqueuses
(seule contre-indication à l'emploi de ce médicament)

un très large champ d'applications en pratique médicale courante :

Traumatologie :

entorses et leurs séquelles ; contusions ostéo-articulaires et musculaires ; déchirures et élongations musculaires ; hématomes ; séquelles de fractures au stade de rééducation.

Affections ostéo-articulaires et musculaires d'origine rhumatismale :

périarthrites scapulo-humérales ou de la hanche ; lombalgies, gonalgies, algies cervico-brachiales ; épicondylites ; rhumatismes inflammatoires et goutte (comme adjuvant local au traitement général).

Affections veineuses de nature inflammatoire :

phlébites superficielles* ; veinites et périveinites après injections (ou perfusions) intraveineuses ; douleurs de varices ; œdèmes par stase veineuse.
* en cas de phlébite profonde, le SORIDERMAL représente un complément utile du traitement anticoagulant.

Autres affections inflammatoires et douloureuses :

cicatrices ; placards dermiques et hypodermiques ; parotidites ; mastites ; indurations douloureuses après injections intramusculaires ; réactions inflammatoires après tests allergologiques...

présentation :
Tubes de 45 g de crème dosée à 5 p. 100 d'acide métiazinique
Prix : F 9,60 — Tableau C — S.S. 70 % — Agréé à l'usage des Collectivités
Visa N° NL 6218

conduite du traitement :
3 ou 4 applications (suivies éventuellement d'un massage doux) par jour, pendant quelques jours.

SPECIA
RHÔNE-POULENC

SOCIÉTÉ PARISIENNE D'EXPANSION CHIMIQUE * SPECIA

INFORMATION MÉDICALE : 28, COURS ALBERT-1er - PARIS VIII - R. C. PARIS 56 B 7187 - B. P. 490-08 - TÉLÉPHONE : 256-40-00

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'HYDROLOGIE ET DE CLIMATOLOGIE MÉDICALES

SEANCE SOLENNELLE DU MERCREDI 3 MARS 1971

L'EAU MINÉRALE

(géologie et physicochimie)

sous la présidence de Monsieur Louis ARMAND de l'Académie Française

PROGRAMME

LE MATIN

Allocution d'accueil : Monsieur le Docteur André DEBIDOUR, Président de la Société d'Hydrologie et de Climatologie Médicales.

Introduction : Monsieur le Président Louis ARMAND.

Rapports :

Président de Séance : Monsieur J. GOGUEL, Ingénieur Général des Mines, Vice-Président du Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

Thème :

— L'origine des eaux minérales, composition chimique, température, âge : MM. GOGUEL et MARCE, MONITION, VUILLAUME, Ingénieurs géologues au B.R.G.M.

— Discussion.

— Le captage des eaux minérales : MM. RICOUR, Docteur ès-Sciences, Adjoint au Directeur du Service Géologique National, AUBIGNAT, Ingénieur au Service des Mines, CLERMONT-FERRAND, MINOUX et DAGUE, INGÉNIEURS au B.R.G.M.

— Discussion.

L'APRÈS-MIDI

Président de Séance : M. le Professeur P. DESGREZ.

— La surveillance des eaux conditionnées : Docteur B. NINARD (Paris).

— Chimisme et biochimisme des eaux sulfurées : Professeur A. MORETTE (Paris).

Président de Séance : M. le Professeur A. MORETTE.

— Les matières organiques dans les eaux : Docteur G. VAN BENEDEN, Directeur de l'Institut d'Hydrologie Henrijean (SPA).

— Une méthode nouvelle en Hydrologie — La photographie de l'impact des gouttes. Application aux eaux thermales françaises : Docteur L. RUHLMANN (Quiberon).

— Les données fournies par l'analyse chimique des eaux minérales permettent-elles de prévoir et d'expliquer leur action biologique et thérapeutique ? : Professeur P. DESGREZ (Paris).

— Discussion générale.

— *Remise des prix de la Société d'Hydrologie* par M. le Président Louis ARMAND.

— *Projection* d'un court métrage de Monsieur Haroun TAZIEFF.

ALLOCUTION D'ACCUEIL

M. DEBIDOUR. — Avant d'ouvrir cette séance, je tiens à rendre hommage à la mémoire du regretté Doyen Cuvelier, Professeur à la Faculté de Médecine de Clermont-Ferrand, Président délégué du Conseil Supérieur du Thermalisme.

Il avait, l'an dernier, à cette même tribune, présidé avec cette finesse, cette compétence et cette autorité qui étaient siennes, la Séance Solennelle de notre Société, consacrée à la recherche statistique en médecine thermale.

Avec lui, la Société Française d'Hydrologie et de Climatologie Médicales, a perdu un homme de grande valeur, un bon Maître et un ami précieux. Le Thermalisme est aujourd'hui en deuil, et je vous demande donc quelques instants de silence à observer à sa mémoire.

En choisissant comme sujet de sa séance solennelle, le thème de l'EAU MINÉRALE, la Société Française d'Hydrologie et de Climatologie Médicales a voulu marquer son intention de reprendre à la lumière des progrès techniques et scientifiques de ces dernières années, un sujet qu'elle avait, reconnaissons-le, quelque peu négligé.

Si notre Société s'est particulièrement attachée à la recherche clinique, à la recherche expérimentale et plus récemment, à la recherche statistique, soucieuse qu'elle était de mieux défendre la place de la crénothérapie, il n'en est pas moins dommage qu'elle se soit si peu penchée sur ce qui est sa raison même d'exister :

L'EAU MINÉRALE !

Lorsque l'an dernier, accompagné de mon Secrétaire Général, le Docteur Apperce, je me suis rendu auprès de Monsieur Louis Armand pour lui faire part de nos projets d'organiser cette Journée de l'Eau Minérale sous sa présidence, j'ai trouvé en lui un interlocuteur à la fois attentif et bienveillant, que le sujet semblait sans nul doute intéresser et qui m'a tout de suite assuré de son concours et prodigué ses précieux conseils.

Mon cher Maître, vos anciennes fonctions d'Ingénieur des Mines à Clermont-Ferrand, que vous avaient permis de connaître et par delà de vous intéresser à cette eau minérale dont est si riche cette vieille terre d'Auvergne, ne vous avaient-elles pas déjà quelque peu prédisposé et mis en condition pour accepter une telle charge ?

En tout cas, c'est bien grâce à vous et à votre grande autorité que j'ai pu évoluer sans trop de difficultés dans les arcanes compliquées pour le béotien que j'étais, des Mines et de la Géologie. Comme par miracle, le seul énoncé de votre nom m'a ouvert toutes les portes et l'accueil qui me fût réservé se révéla tel que je pouvais le souhaiter, empreint de sympathie et plein d'efficacité...

C'est donc grâce à vous et au concours éclairé de ceux auxquels pous m'aviez recommandé, qu'a pu être mise sur pied cette belle séance solidement charpentée, que mes Collègues et moi souhaitons se voir se dérouler aujourd'hui.

Soyez-en remercié.

Je voudrais également exprimer toute ma reconaissance à Monsieur Goguel, Ingénieur Général des Mines, Vice-Président du Bureau de Recherche Géologique et Minière, dont le siggle BRGM m'avait je l'avoue quelque peu intrigué au début, et pourtant, Monsieur, notre profession n'a rien à vous envier sur ce point !...

Monsieur, vous avez bien voulu, malgré vos multiples occupations, vous charger d'établir le programme scientifique de cette matinée, vous y êtes parvenu et ce n'est pas le moindre de vos mérites d'avoir réussi à mettre sur pied un programme aussi complet, répondant aux questions que mes collègues et moi vous posions au sujet de l'origine des eaux minérales, leurs composantes chimiques, leurs températures et leurs captages.

Je sais Monsieur qu'il y avait là matière à plusieurs heures d'exposés, vous avez su vous limiter et l'organisateur de cette Journée, que je suis, tient à vous

en remercier ainsi que vos collaborateurs, tout en regrettant personnellement que le temps ait dû vous être si parcimonieusement compté... Vous allez nous exposer ces points essentiels. Les médecins thermalistes sont particulièrement intéressés par cette eau minérale, cette richesse naturelle que depuis des millénaires l'homme utilise à des fins thérapeutiques.

Tous, nous vous posons des questions sur leur devenir avec les risques que lui font courir ce qu'il est jusqu'à présent convenu d'appeler les progrès de la civilisation, et plus particulièrement la civilisation industrielle.

Monsieur le Président, c'est vers vous que je me tourne à nouveau, car s'il en est un qui est orfèvre en cette matière, c'est bien vous. Nous vous savons depuis de nombreuses années attaché à ce problème, et les cris d'alarme que vous poussez au travers des ondes sonores et télévisées, comme vos articles dans la grande Presse, vous ont valu ce surnom de Monsieur ENVIRONNEMENT, surnom prophétique puisqu'à leur tour, les Pouvoirs Publics, prenant conscience de la gravité de ce problème, viennent de désigner un Ministre pour le résoudre...

Puissiez-vous, avec cette chaleur et de don de persuasion qui sont vôtres, nous aider à défendre cette eau minérale, ce merveilleux don de la Nature, que mes collègues et moi nous efforçons de notre mieux d'utiliser pour soulager nos malades.

Cet après-midi, après que le Docteur Ninard nous aura exposé le délicat problème de la surveillance des eaux « conditionnées », nous entendrons successivement le Rapport de Monsieur le Professeur Morette sur le Chimisme et le Biochimisme des eaux sulfurées, suivi de celui de Monsieur Van Beneden, Directeur de l'Institut d'Hydrologie de Spa, sur les matières organiques dans les eaux. Puis une communication du Docteur Ruhlmann, ancien lauréat du Prix de notre Société, sur l'application aux eaux thermales françaises de la méthode photographique de l'impact des gouttes.

Enfin, Monsieur le Professeur Desgrez, dans son rapport sur les données fournies par l'analyse chimique des eaux minérales, cherchera à nous expliquer le pourquoi de leur action biologique, et par delà, leur effet thérapeutique... Ce très important Rapport va constituer la véritable charnière entre cette première journée consacrée à l'Eau Minérale, et celle que se propose de tenir notre Société l'an prochain, et dont le thème sera celui de sa pharmacodynamie.

A tous ces orateurs, j'exprime ma très grande reconnaissance. Je sais leur mérite d'avoir préparé malgré les grosses charges qui sont les leurs, les rapports que je leur avais confiés.

Messieurs, sous certaines influences, anglo-saxonnes surtout, la crénothérapie a été quelque peu abandonnée en raison de son prétendu caractère empirique et des bases scientifiques apparemment insuffisantes... Pour ma part et au nom de mes collègues, je tiens à réfuter une telle opinion répandue comme il est de bon ton, dans certains milieux qui persistent à la méconnaître systématiquement. Certes, nous savons parfaitement qu'en dehors de nombreux et excellents travaux cliniques, il y a peu de travaux expérimentaux comme nous souhaiterions tous en voir. Mais, il y a à cela une explication, la plus importante parmi les autres, c'est le manque total ou presque total de moyens matériels mis à notre disposition, pour réaliser en laboratoire, des recherches dont nous savons personnellement que certaines ont des protocales prêts depuis plus de dix ans ! Et s'il est un vœu que je voudrais faire, quelle tribune meilleure pourrais-je utiliser que celle-ci, pour l'exprimer publiquement à vous, Monsieur le Directeur Général de la Santé, qui nous avait fait l'honneur de votre présence.

Ce vœu, c'est que, fort des résultats statistiques obtenus par cette thérapeutique et reconnus par la Sécurité sociale, les Pouvoirs Publics favorisent et aident au maximum la Recherche Thermale, soit dans les stations lorsque les qualités de l'eau ne leur permettent pas une expérimentation éloignée, soit dans les laboratoires des C.H.U., si au contraire, elle peuvent être expérimentées à distance et longtemps après leur émergence.

Je vous ai tout à l'heure énuméré les différentes interventions prévues au programme de cette journée, il est bien entendu prévu des discussions que dirigeront Messieurs Goguel, Morette et Desgrez, je suis sûr, que beaucoup d'entre nous, membres de notre Société et autres, ayant la chance d'avoir à notre disposition des hommes compétents, souhaitent poser des questions et intervenir. Pour des raisons techniques et aussi des raisons d'horaire, je demanderais aux différents interpellateurs de se nommer avant d'exposer leur question, et d'être aussi concis que possible.

Enfin, pour vous récompenser de l'attention soutenue que vous porterez tout au long de cette journée et vous donner quelque repos avant de nous retrouver au cocktail, après que Monsieur le Président Louis Armand aura remis leurs prix aux lauréats du Prix annuel de la Société d'Hydrologie, vous pourrez assister à la projection d'un court métrage que nous commentera Monsieur Haroun Tazieff... Est-il besoin de vous le présenter : les travaux et les réalisations cinématographiques périlleuses qu'il a réalisés sur ce monde inquiétant et passionnant à la fois, des volcans, sont mondialement connus et on ne pouvait trouver meilleure conclusion à cette journée de travail.

Avant de céder la présidence à Monsieur Louis Armand et lui donner la parole, je voudrais remercier tous ceux qui ont bien voulu nous apporter leur concours matériel pour l'organisation de cette journée qui doit intéresser toutes les activités du Thermalisme. Je voudrais le faire individuellement mais le temps me manque et vous trouverez tout à l'heure dans le Hall, la liste de ces différents donateurs. Qu'ils en soient remerciés.

IN MEMORIAM

LOUIS ARMAND

Il y a quelques semaines, la France apprenait avec stupeur la brutale disparition de Louis Armand.

La Société Française d'Hydrologie et de Climatologie Médicales avait été grandement honorée le 3 mars dernier, lorsqu'il avait de très bonne grâce accepte de présider sa séance solennelle dont le thème était « L'EAU MINÉRALE ».

D'autres plumes et d'autres voix plus illustres que les miennes, ont déjà dans la Presse et par les Ondes retracé ce que furent la carrière et l'étonnante personnalité de Louis Armand ; plus modestement, restant dans le seul domaine de ce que furent nos trop brèves rencontres, je voudrais évoquer ce que fut son accueil, lorsqu'en compagnie de notre Secrétaire général et ami le Dr Appercé, nous lui rendîmes visite pour le prier de bien vouloir accepter la Présidence de notre réunion... Rendez-vous était pris depuis déjà plusieurs semaines, c'était au printemps 1970, nous savions le calendrier de Louis Armand surchargé et un an d'avance était un minimum pour s'assurer de sa collaboration !

Nous étions quelque peu émus avant cette entrevue, assis dans cette magnifique salle d'attente dans ce lumineux étage qu'il occupait tout au sommet du grand immeuble de la Société Internationale des Chemins de Fer au bord de la Seine, mais lorsque l'huissier nous introduisit dans son bureau, nous fûmes immédiatement mis à l'aise par la chaleur de son accueil et l'extrême simplicité de son comportement signant à la fois la classe et l'intelligence de notre interlocuteur...

C'était un homme étonnant, visiblement le sujet l'intéressait, car il avait été au début de sa prodigieuse carrière Ingénieur en Chef des Mines à Clermont-Ferrand, il y avait d'ailleurs marqué son passage par des études sur les captages des Eaux Minérales, notamment dans la région du bassin de Vichy, de cette entrevue et des suivantes nous gardons un souvenir merveilleux ; tout de suite les questions fusèrent, à chacune d'elles, Louis Armand donnait réponse avec cette vivacité et cette clarté qui étaient siennes, à grands traits nous bâtîmes ensemble notre programme, et, tout de suite il fixa son choix sur les différentes personnalités susceptibles de nous apporter leur concours, et, le miracle se produisit, car la seule mention du nom de Louis Armand nous ouvrit toute sorte de portes, et bientôt je puis le dire, grâce à lui et à son rayonnement, nous pouvons le dire, nous réussîmes à mettre sur pied cette très belle réunion dont le compte rendu figure dans ce numéro de la Presse Thermale et Climatique, réunion qu'il présida avec tant de compétence, de bonne humeur et d'esprit... Ce fut un feu d'artifice, et chacun d'entre nous qui eurent la bonne fortune d'y assister n'oublieront jamais la contribution déterminante qu'il apporta à son succès.

Louis Armand qui nous honora de sa présence pendant la presque totalité de la journée devait nous quitter dans la soirée pour d'autres tâches... le lendemain il s'envolait pour le Japon... C'est dire la vie intense de cet homme, véritable force de la nature, que rien n'arrêtait qui jamais ne cédait à la facilité. Il se dépensait sans compter, et c'est ce qui sans doute hélas a dû précipiter sa fin... Cette fin cruelle pour les siens et pour nous, ses amis ses admirateurs, mais qui dans le fond fut celle qu'il eut souhaitée.

La Société Française d'Hydrologie et de Climatologie Médicales s'associe pleinement à la profonde peine des siens qui est aussi celle de tous les Français et de tous les hommes, et elle s'incline devant sa mémoire avec tristesse, respect et une profonde gratitude.

André DEBIDOUR.

INTRODUCTION

M. le Président Louis ARMAND.

M. le Président, Mesdames, Messieurs, lorsque M. Debidour est venu, accompagné de M. Appercé, m'entretenir d'une participation à cette réunion, je dois dire qu'il m'a d'abord donné l'occasion de parler de mes souvenirs de jeunesse, et reparler de souvenirs de jeunesse, surtout lorsqu'on a eu la chance de voir certaines de ses idées astucieusement continuées et transformées par des hommes plus jeunes, est toujours un grand plaisir.

Je me féliciterai tout d'abord de constater la convergence de nos pensées sur un point très important : je suis, en effet, persuadé comme lui que le problème des eaux minérales, du thermalisme, est un de ceux qui ont souffert de l'absence d'une étude globale.

A une époque où tout ce qui est analytique se développe beaucoup plus rapidement que tout ce qui est synthétique, il est normal que les recherches spécialisées sur la chimie des médicaments aient été beaucoup plus vite que ce qui nécessiterait une étude justifiant le qualificatif de « pluridisciplinaire ». « Rien n'est plus à la mode, en France, que ce terme et rien n'y est moins pratique. Vous savez que nous avons un trait de caractère qui rend sans doute les conversations nombreuses et agréables, mais en vertu duquel plus on parle d'une chose moins on s'en occupe. Le seul fait que l'on ait beaucoup employé le vocable pluridisciplinaire suffit à contenter pas mal de gens. Il ne suffit malheureusement pas pour que l'on n'ait véritablement rendu pluridisciplinaire l'approche des grands problèmes de l'actualité.

Je crois que c'est de là que provient le recul, somme toute, de certains procédés, de certaines méthodes thérapeutiques, et la chose est, à mes yeux, à ce point importante qu'au lieu de bavarder au hasard sur les eaux minérales, je m'astreindrai à suivre un plan, pour le développement de quelques idées. Mais je vous demanderai de bien vouloir considérer que, n'engageant aucune responsabilité, je peux déborder de la voie de la pure logique et donner à ces quelques mots la forme d'un « remue-méninges », ce qui est la meilleure traduction française de « brain-storming ». C'est vraiment du « remue-méninges » que je voudrais faire pendant un petit moment avec vous.

Ensuite, je céderai la présidence à mon ami Goguel et alors je changerai de rôle : je me recyclerai !

Je crois qu'en prenant l'initiative de rechercher ce qu'on peut savoir des eaux minérales, avant de savoir ce qu'on peut en tirer, vous avez, Monsieur le Président, pris le problème par le bon bout. Il n'est pas facile d'imaginer que l'on puisse retourner la situation, retourner l'opinion, mais ce type de problème est général à notre époque où, comme on l'a souvent dit, nous abordons l'avenir à reculons, et où nous avançons vite, non pas là où l'intérêt général l'exige, mais bien plutôt là où les circonstances s'y prêtent.

Repenser ce problème est très important pour la France, parce que très peu de pays sont aussi riches en eaux minérales et en environnements naturels qui permettent de faire de nos contrées un véritable parc, une zone de repos de l'esprit, à condition qu'on veuille bien mobiliser et utiliser toutes ces richesses et toutes les traditions d'équilibre qui furent celles de notre pays tant que nous étions dominés par l'agriculture.

Je voudrais développer successivement trois sujets.

Le premier est celui du rôle de l'eau minérale dans l'alimentation. Il y a un bon moment que nous savons l'importance des oligo-éléments. Quand j'étais jeune, la découverte en était encore nouvelle et je m'en suis occupé. Mais ce n'est pas parce qu'on en sait davantage maintenant sur la question que l'on a beaucoup fait avancer la recherche des alimentations qui nous permettent de donner à l'homme toute la gamme des oligo-éléments nécessaires à son équilibre.

Bien sûr, on étonne toujours ceux qui ne sont pas biologistes lorsqu'on leur dit que sans cobalt, sans vitamine B12, il n'y aurait pas de joie de vivre. C'est pourtant exact. Bien des gens sont piqués à la vitamine B12, et quand on leur dit qu'elle est rose parce qu'elle contient du cobalt, ils ne vous croient pas ; ils se méfient du cobalt, ils ne peuvent dissocier ce métal du nickel des automobiles... Vraiment, il faut que la nature soit bien faite pour trouver le moyen de nous faire avaler du cobalt.

Sur le manganèse, je vous dirai des choses, dont je ne garantis pas qu'elles soient vraies, mais que j'ai lues, non pas dans des bandes dessinées, quoique « Tintin » soit sérieux... mais dans des articles scientifiques. Le manganèse est lié à l'hormone de la lactation ; sans manganèse il n'y aurait pas de lait chez les mammifères, et s'il n'y avait pas de lait, il n'y aurait pas d'amour maternel. On l'a vérifié chez les souris qui, privées de manganèse, lorsqu'elles ont un souriceau — car cela ne les empêche pas d'avoir des souriceaux — ne s'intéressent absolument pas à lui, ne font pas de nid. En France, on ne risque rien puisque dans un verre de vin rouge on trouve du manganèse pour toute une vie !

Quand je regarde des poulets, par exemple, j'imagine quel travail représente pour la poule la répar-

tition de l'iode pour leur thyroïde. Et quand on voit une poule picorer on ne peut qu'admirer qu'elle réussisse à trouver de l'iode autour d'elle.

Nous avons tous besoin d'une alimentation très variée pour y trouver toute cette gamme d'oligo-éléments, et nous devons en savoir encore très peu par rapport à la vérité. Nous n'avons probablement pas tous la même aptitude à conserver précieusement tel ou tel de ces éléments. Certains d'entre nous doivent en ingérer davantage, parce qu'ils les retiennent mal ou parce qu'ils traversent une période où l'organisme ne sait pas faire ce travail.

A l'époque reculée de la cueillette, c'est-à-dire quand l'homme mangeait tout ce qui lui tombait sous la dent, il a pu ingérer une variété d'oligo-éléments beaucoup plus grande que du jour où, s'étant aperçu que la farine de blé comprise dans le grain était la partie la plus nourrissante, il n'a plus mangé que cette partie du végétal. De même, dans les temps anciens, l'homme allait chercher dans les animaux les abats où les oligo-éléments se trouvent en beaucoup plus grand nombre que dans le bifteck qui est la base de la nourriture d'aujourd'hui.

Il reste une séquelle de cette tradition dans les méchouis où l'on sert des abats à l'hôte d'honneur, quand on ne va pas jusqu'à leur offrir l'œil où il y a des produits-types, etc., qui ont leur valeur.

Les eaux minérales étaient infiniment plus importantes à l'origine de l'humanité, laquelle recule de plus en plus dans la nuit des temps. Une revue de simple actualité, qui s'appelle « L'Express », n'a-t-elle pas donné, dans un dernier numéro, la photographie de la mandibule qui garantit que notre ancêtre le plus ancien a cinq millions d'années. Quand j'étais à l'École des Mines, on en était resté à trente mille ans. Plus tard, j'ai été fort heureux de pouvoir toucher à Heidelberg la mâchoire de l'homme de Mauer qui qui, lui a cinq cent mille ans. Quand on a trouvé cette mâchoire, elle avait toutes ses dents et elle en a perdu une dans les circonstances suivantes : lorsque les Américains sont entrés à Heidelberg, en 1945, il y avait parmi eux un savant qui a voulu voir la mâchoire de Mauer. Il a eu affaire à un professeur un peu terrorisé qui a ouvert le coffre-fort, mais, d'émotion, a laissé tomber la mâchoire. La seule dent cassée est ainsi une conséquence de la guerre

Depuis des millénaires nous nous sommes de plus en plus écartés de la nature dans notre nutrition et l'on peut se demander si bientôt pour voir un enfant nourri par sa mère il ne faudra pas se rendre au Zoo où sur des pancartes on lira : « A quatre heures, nourriture au sein ». Les gens n'en croiront pas leurs yeux car ils auront vu tout le monde nourri au biberon. Il faudra leur faire des démonstrations, leur expliquer...

Au temps dont j'ai parlé, où l'on courait après la nourriture et où l'on pêchait les oligo-éléments à droite et à gauche, les eaux minérales n'était pas captées ; elles se répandaient à travers les prairies, soumises au phénomène que vous connaissez tous, de la concentration des oligo-éléments par la nature. C'est un problème que l'on retrouve en sens inverse, aujourd'hui, avec l'environnement. Nos ancêtres étaient certainement alimentés en oligo-éléments par les eaux minérales qui se mêlaient aux autres choses dans les marais, parce qu'à cette époque, tout était marais.

J'ai eu souvent l'occasion de constater, dans des marais, toute l'importance des eaux ferrugineuses qui s'y perdent, qui s'y transforment et qui donnent à la flore des propriétés très particulières. La flore évolue parce que la proportion d'éléments change. Le fer n'est pas un oligo-élément ; il se manifeste en quantités beaucoup plus grandes, mais il joue son rôle, et l'on arrive à transformer une flore simplement du fait que certaines eaux, que l'on appelle et qui doivent s'appeler minérales, se mêlent à l'eau ordinaire.

Parmi les exemples que l'on peut donner de ce phénomène, celui du fluor se signale particulièrement : incontestablement, en effet, le fluor joue un rôle dans la conservation de la dentition et l'on commence à se rendre compte qu'il en joue un autre dans la vertu des eaux, ce qui le fait changer de niveau, la médecine de l'eau étant, au vrai, supérieure à la médecine des dents. Puisque j'ai parlé de dentition, rappelons-nous que c'est avec le néolithique que sont apparues les caries dentaires provenant d'une alimentation trop sélectionnée et que nos ancêtres du paléolithique avaient des dentitions remarquables dues à ce qu'ils mâchaient beaucoup de choses. Ne nous ont-ils pas légué cette envie de mâcher des tiges de graminées, à laquelle nous cédons souvent quand nous nous promenons dans la campagne ? Et nombre de graminées concentrent énormément de fluor, en particulier la saponaire dans ma petite patrie savoyarde.

Que l'on nous fasse donc boire de l'eau fluorée, comme maints pays s'y sont résolus ou que l'on nous cultive des plantes comestibles alimentées en eau fluorée afin d'y trouver ce fluor assimilable dans des limites convenables.

Il y a là tout un processus à reconstituer parce que nous n'avons pas été fabriqués par le Créateur pour avoir les dents cariées. Nous connaissons assez la conscience professionnelle de ses bureaux d'études pour être bien convaincus que le Créateur aurait mis à la porte des collaborateurs qui lui auraient présenté des hommes avec des mâchoires semblables à celles que nous avons aujourd'hui.

Des oligo-éléments passons aux aliments tout court. Qui s'étonne encore que le chlorure de sodium nous soit fourni dans des salières ? Nos enfants ne peuvent dissocier le sel de la salière, pas plus que la moutarde de son pot. Et pourtant, pendant des millénaires, il a bien fallu se tirer d'affaire sans salière. On devrait rechercher ici et là des aliments contenant cette précieuse substance, elle-même tirée des eaux minérales. Comme on était nomade, on allait manger des choses en des endroits où elles étaient salées.

Maintenant, c'est l'alimentation qui vient à nous, ce qui ne doit pas altérer notre faculté de discernement entre le nécessaire et le superflu.

Mon deuxième sujet sera celui de l'Hydrothérapie.

Quand il s'agit de bains, on ne remonte pas, en général, pour en situer l'origine, plus loin qu'aux Romains. Sans doute ceux-ci allaient-ils chercher dans les eaux chaudes les calories dont on manquait à l'époque. Mais on oublie trop vite que l'hydrothérapie est une des traditions les plus anciennes. Ici je vais faire un peu de chauvinisme en parlant des Gaulois, qui, soit dit en passant n'ont jamais dû leur nom à ce qu'ils avaient le coq pour emblème, mais à un mauvais jeu de mots de l'occupant romain portant sur gallus, désignant leur coq à eux et gaël, racine de notre patronyme. Les coqs que l'on voit, chez nous, sur des toits d'église, sur des timbres-poste, etc., sont donc en quelque sorte des imposteurs et les chauvins qui font la chasse aux influences étrangères devraient, par esprit de suite, s'employer à éliminer cette effigie.

Quoiqu'il en soit, les Gaulois connaissaient l'hydrothérapie. On retrouve des noms de lieux d'origine authentiquement gauloise, liés aux sources d'eaux minérales ; tel est le cas, par exemple, de Bourbon-l'Archambault.

Mais, bien avant les Gaulois, disons de temps immémorial, on s'est soigné en se trempant dans des eaux diverses.

Vous savez comme moi que la peau est un instrument extrêmement précieux. Autrefois on nous expliquait que l'essentiel était à ce qu'elle contenait, le contenant n'étant que l'accessoire. La cellule de la peau était officiellement hexagonale et il suffisait de la dessiner sous cette forme au bac pour avoir une bonne note. De cette membrane on ne parlait guère que pour dire qu'elle ne servait à rien. Le protoplasme était considéré comme un sujet plus sérieux. Quant au noyau c'était l'élément capital, la base de tout. On a maintenant reconnu que le rôle de la membrane était essentiel parce que s'échangeaient par son intermédiaire des informations fondamentales. Tout est « interface » ici bas et la membrane en donne un significatif exemple, grâce à son innervation qui est, si je ne me trompe, de l'ordre du mètre par centimètre carré.

Notre peau est ainsi une véritable antenne et il faut très peu de choses pour produire des émissions de flux électrique qui sont susceptibles d'être transmises par les nerfs.

Le contact de l'eau avec la peau est indispensable pour l'équilibre aussi bien au point de vue chimique que nerveux. Comme nous sommes en gravité zéro quand nous baignons dans l'eau, nous sommes dans un état d'apesanteur qui rappelle la tranquillité du fœtus.

Dans les eaux minérales, la proportion de potassium-sodium varie plus que dans d'autres eaux et l'on est fondé à penser que le contact avec un élément liquide dans lequel les relations, les proportions de métaux ne sont pas les mêmes peut produire des effets profonds sur l'équilibre nerveux de la peau. Tout le monde sait qu'il y a des bains qui énervent certaines personnes et d'autres qui les font dormir. Il y a bien longtemps qu'on a lié les eaux minérales et les bains aux maladies nerveuses. Dès l'Antiquité et en Grèce, notamment, on avait opéré ce rapprochement.

Une erreur de traduction a longtemps fait appeler « dortoirs » des centres créés autour des eaux minérales, où l'on croyait que les pèlerins, les malades allaient dormir. En réalité, il s'agissait bien plutôt de « dormitoirs », c'est-à-dire d'endroits où l'on faisait dormir les malades, où se pratiquaient des cures de sommeil.

J'ai trempé, c'est bien le cas de le dire, dans des problèmes d'acide carbonique et de bains, mais il y en a beaucoup d'autres qui dépassent largement les baignades d'été et les bikinis.

A propos de l'importance de la peau et de ses réflexes, l'exemple des dauphins est particulièrement caractéristique.

Les dauphins ont une résistance à l'avancement qui est beaucoup plus faible que celle d'un modèle rigide ayant la même forme qu'eux, tout simplement parce que cette résistance provient de ce que les filets d'eau se décollent de l'objet qui se déplace, et que, chez ces mammifères, le plaisir éprouvé sous l'effet de la caresse de l'eau fait que leur peau se plisse juste ce qu'il faut pour que les filets ne se décollent pas.

C'est pourquoi il existe maintenant une école qui étudie des sous-marins de type dauphin, dont la forme suivrait les filets d'eau de façon à ne pas se décoller.

On peut juger de l'innervation qu'il faut à la peau pour obtenir des auto-régulations du type dauphin !

Soigner nos nerfs sera incontestablement le problème de demain. Il ne faut pas se faire d'illusion : nous avons soulagé nos muscles qui ne sont plus soumis aux mêmes fatigues depuis que nous avons des machines, mais cet allègement s'est opéré aux dépens des nerfs ; nous sommes aujourd'hui encombrés, nous sommes agressés ; le monde de demain s'ouvre, hélas, sur un ensemble de maladies nerveuses qui n'atteindront pas que l'individu ou le couple mais aussi la société.

Les mobiles de l'agressivité sont trop nombreux pour qu'on les énumère : la conduite d'une voiture en est un mais il y en a bien d'autres, ne seraient-ce que les pannes des appareils ménagers.

Soigner nos nerfs, ménager nos nerfs va donc être un des commandements de ce qu'on peut appeler les nouvelles sociétés.

J'en arrive à mon troisième sujet qui a trait aux cures thermales.

De bons esprits daubent parfois sur le thermalisme en disant, par exemple, qu'à Vichy les bienfaits de la cure ne sont pas attribuabes qu'aux carottes, que Châtelguyon est un endroit bénéfique parce qu'on y

fait d'agréables promenades, mais que, si l'on y masse un peu le ventre, on pourrait aussi bien le faire à Paris, etc.

Sans doute y a-t-il des sceptiques pour lesquels une thérapeutique qui n'est pas basée sur des drogues, sur des piqûres, ne fait pas sérieux. Les piqûres surtout rassurent les malades.

En fait, et comme on l'a déjà dit au cours de cette réunion, ce sont le plus souvent des ensembles qui doivent agir, dans lesquels les eaux entrent en compte avec les drogues, les piqûres, l'hygiène, etc. La médecine, qui a fait des progrès à pas de géant dans l'analyse, doit en accomplir d'autres, peut-être plus lents mais plus sûrs, dans la recherche des synthèses.

Ce problème se rattache à ceux de l'environnement dont je me suis occupé depuis longtemps et même à une époque où l'on passait pour un excentrique quand on s'intéressait à la pollution. On considérait cela comme une manie, une lubie, alors que maintenant les ouvriers de la onzième heure affluent dans ce secteur.

Les stations thermales ont longtemps porté et portent encore un peu la marque d'une époque où, la mode aidant, on vit s'affirmer leur renommée et se créer une hygiène autour des sources. Je veux parler du Second Empire où l'on réussit à faire se promener à pied de grandes dames, d'éminents personnages.

Il s'agit maintenant de toute autre chose : de mettre la santé dans un équilibre auquel concourront toutes sortes de facteurs. Autrement dit, la guérison ne doit plus être considérée comme monodimensionnelle.

Pour rechercher et coordonner sur des fiches ces facteurs les ordinateurs rendront les plus grands services. Par exemple, à l'issue d'une cure à Vichy ils seront un auxiliaire précieux pour tirer les corrélations les plus instructives entre le changement de régime imposé au malade, les carottes qu'il a mangées les verres d'eau qu'il a bus, les promenades qu'il a faites, les bains qu'il a pris, etc.

Mais j'aime autant vous dire que ce n'est pas encore pour demain.

Dans l'environnement des stations thermales la lutte contre le bruit doit tenir une place capitale Autrefois ces stations étaient calmes ; les casinos y fonctionnaient en général discrètement, et y fonctionnent d'ailleurs encore, les jeux n'y étant pas de nature à provoquer des maladies de cœur. Les gens se plaignaient parfois de s'y ennuyer mais c'est parce qu'ils s'ennuyaient qu'ils se reposaient.

Nos amis, et notamment M. Aubignat, nous ont parlé du périmètre de protection pour les sources, pour la pureté de l'eau. Je pense que l'on devrait également déterminer un périmètre de protection en décibels à l'intérieur duquel il serait entendu qu'on ne paierait pas le prix de sa chambre si l'enregistreur de décibels avait atteint cent décibels dans la nuit. Avec ce système on verrait sans doute les municipalités interdire rapidement l'échappement libre des motos des jeunes garçons.

Grâce à des mesures de ce genre on offrirait aux curistes un environnement riche en possibilités nouvelles pour la restauration de leur santé associée à la protection de la nature.

J'ai le remords d'avoir été trop long, mais ma meilleure excuse est de vous avoir ainsi montré combien le sujet m'intéressait.

SÉANCE DU MATIN

Président de séance : M. J. GOGUEL

Le PRÉSIDENT. — Nous allons ce matin étudier l'aspect de l'eau avant qu'elle nous soit livrée, c'est-à-dire dans la phase souterraine de son existence. Le sujet se divise en deux si vous voulez : la circulation souterraine prise dans son ensemble, et la deuxième partie, c'est la manière de recueillir cette eau souterraine, c'est-à-dire le problème du captage.

Nous avons choisi de vous faire présenter les différents aspects de cette question par un certain nombre d'orateurs dont vous avez les noms sur le programme.

Je dois toutefois excuser M. Ricour qui avait coordonné l'ensemble des exposés sur le captage, mais qui a été retenu d'une manière impérative aujourd'hui, et il laissera à M. Aubignat le soin de présenter la question du captage.

Dans la première partie de cet exposé, nous avons envisagé l'origine, la composition chimique, la température et l'âge.

M. Monition va nous parler de l'origine et de la composition chimique. Je donnerai quelques indications sur la température, et M. Marcé et M. Vuillaume vous montreront quelques exemples de techniques nouvelles qui permettent d'obtenir des informations sur cette histoire de l'eau. Cette eau que nous ne voyons pas, que nous ne touchons pas, tout ce que nous vous en aurons dit, c'est tout de même un petit peu une reconstitution, une extrapolation. Mais enfin M. Vuillaume et M. Marcé vous montreront que nous avons maintenant des éléments positifs pour suivre cette histoire de l'eau dans le passé.

Je vais donner la parole à M. Monition.

ACQUISITION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX MINÉRALES

par M. LOUVRIER et L. MONITION

Toutes les eaux souterraines contiennent des sels en solution. Ces sels sont présents à des concentrations variables selon les eaux et donnent à celles-ci des faciès chimiques différents selon la concentration relative de chaque ion dissous dans l'eau. Le faciès de l'eau varie tout au long du trajet souterrain par suite de concentration, de précipitation, d'échanges de bases.

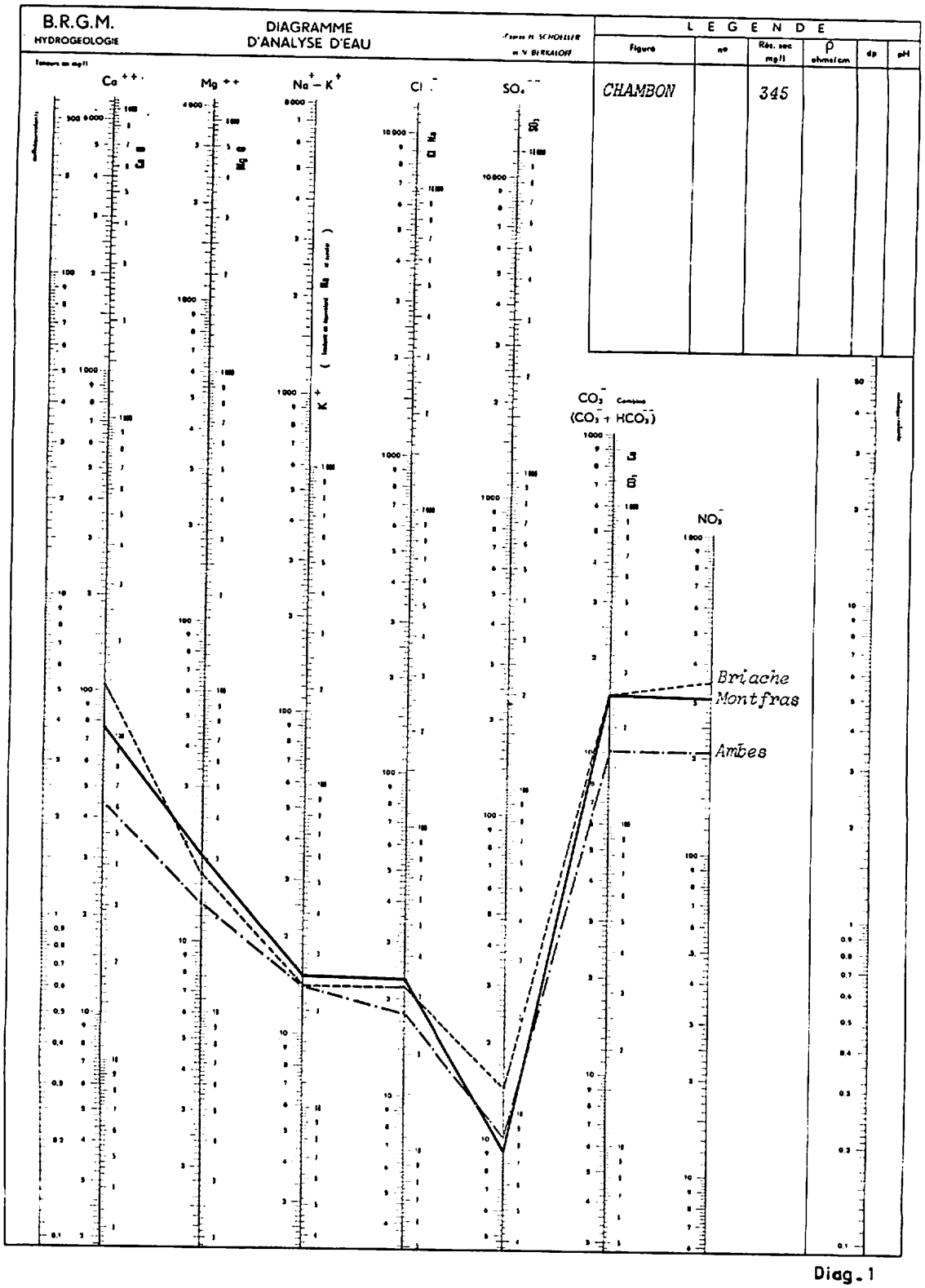
Il est possible de comparer des eaux dites « minérales » et d'autres eaux de nappes souterraines banales, en les associant sur des diagrammes logarithmiques de Schoeller et Berkaloff : sur ces diagrammes, chaque eau est caractérisée par un profil reliant des points sur des échelles logarithmiques verticales, chaque échelle représentant respectivement les concentrations des majeurs : cations : Ca^{++}, Mg^{++}, $Na^{+} + K^{+}$ et anions : Cl^{-}, $SO_4^{=}$, $HCO_3^{=} + CO_3^{=}$ exprimés en $CO_3^{=}$; ces diagrammes sont une méthode facile pour figurer la composition chimique d'une eau (1).

1. - LES EAUX DITES MINÉRALES PRÉSENTENT-ELLES UNE COMPOSITION CHIMIQUE PARTICULIÈRE ?

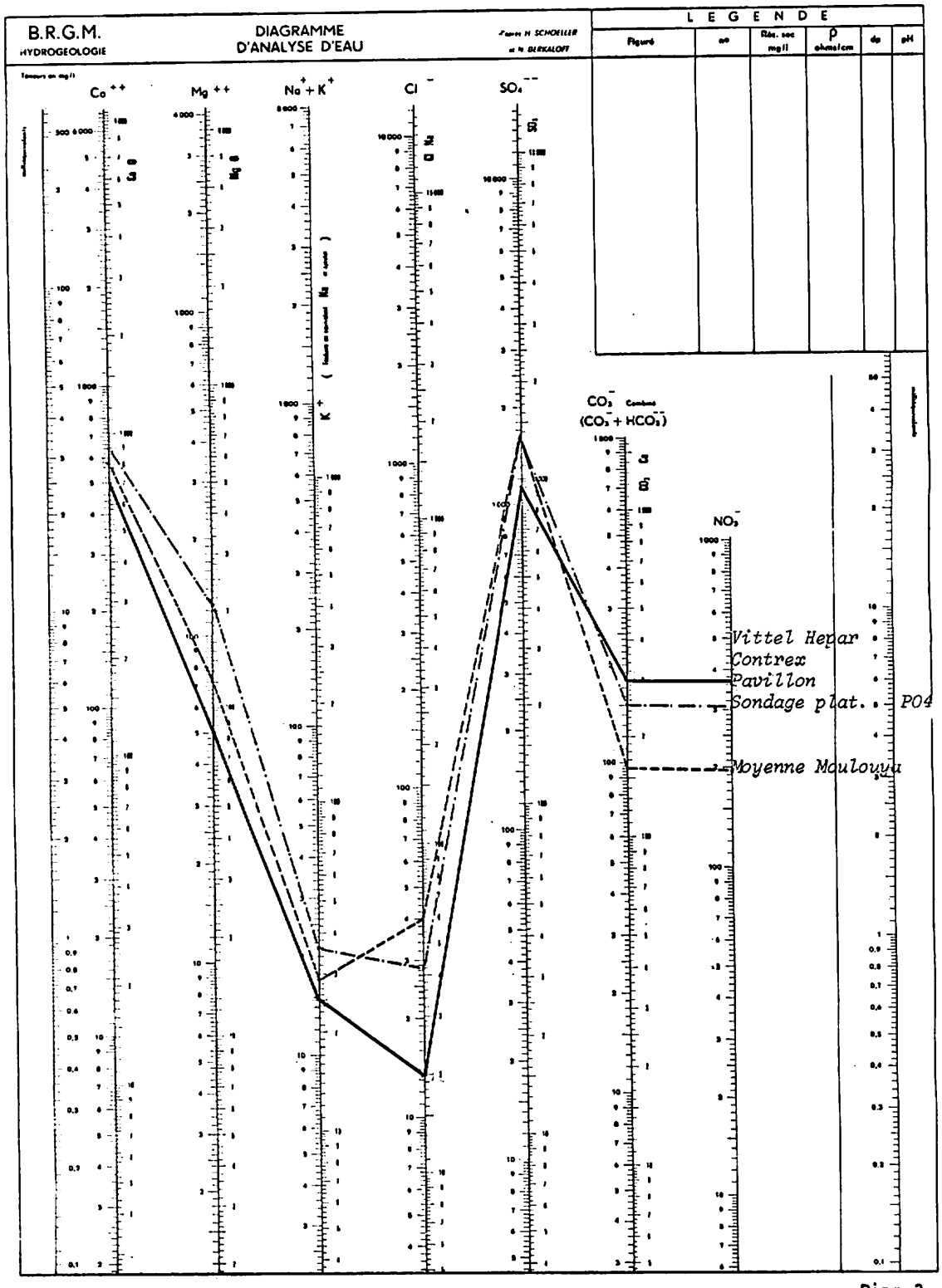
Quelques exemples de rapprochements ont été aisément mis en évidence sur les graphiques où les lignes représentatives des eaux minérales sont en trait plein.

(1) Les analyses chimiques des eaux minérales sont issues des annales des Mines, 1961.

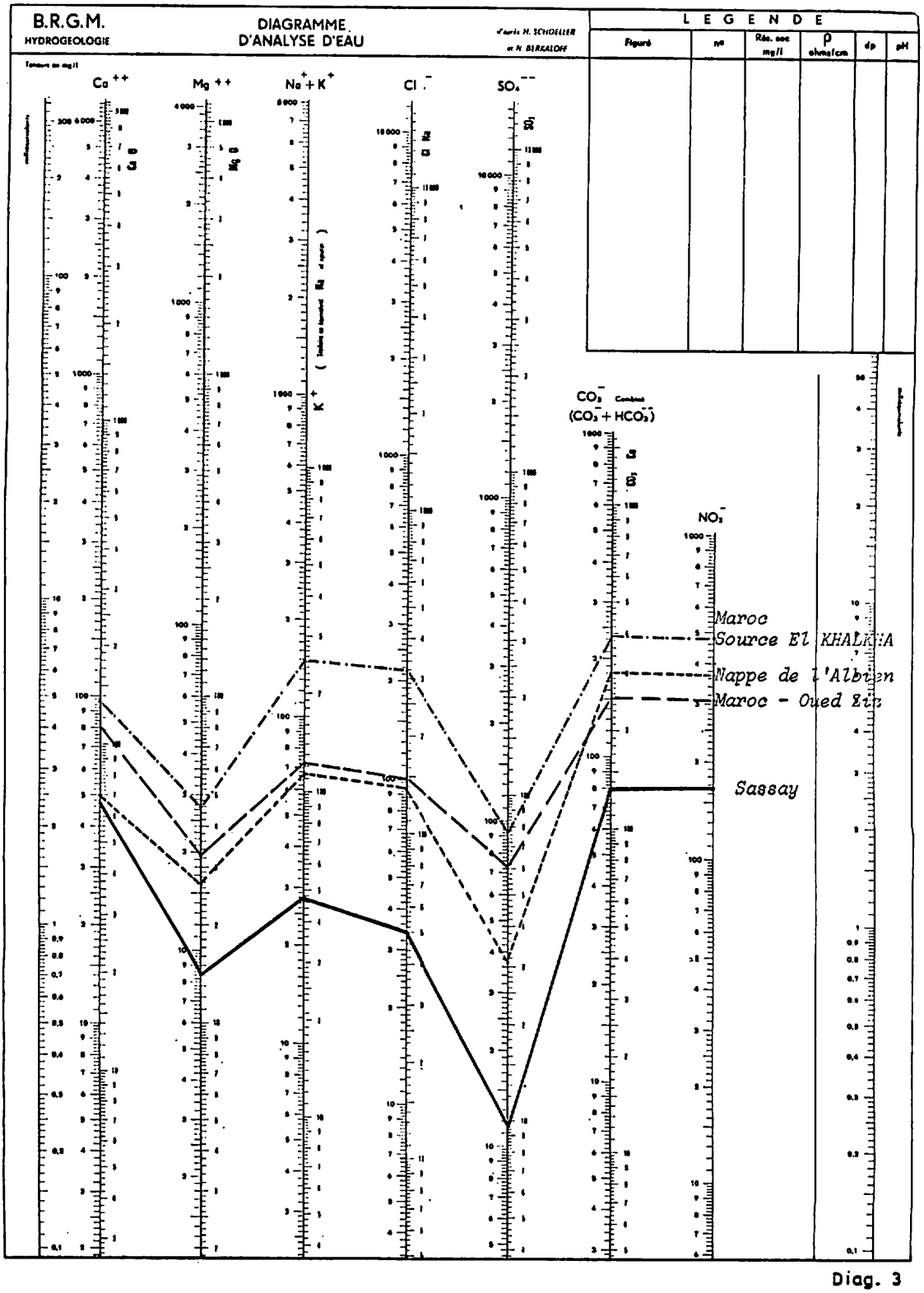
CHAMBON LA FORET - LOIRET



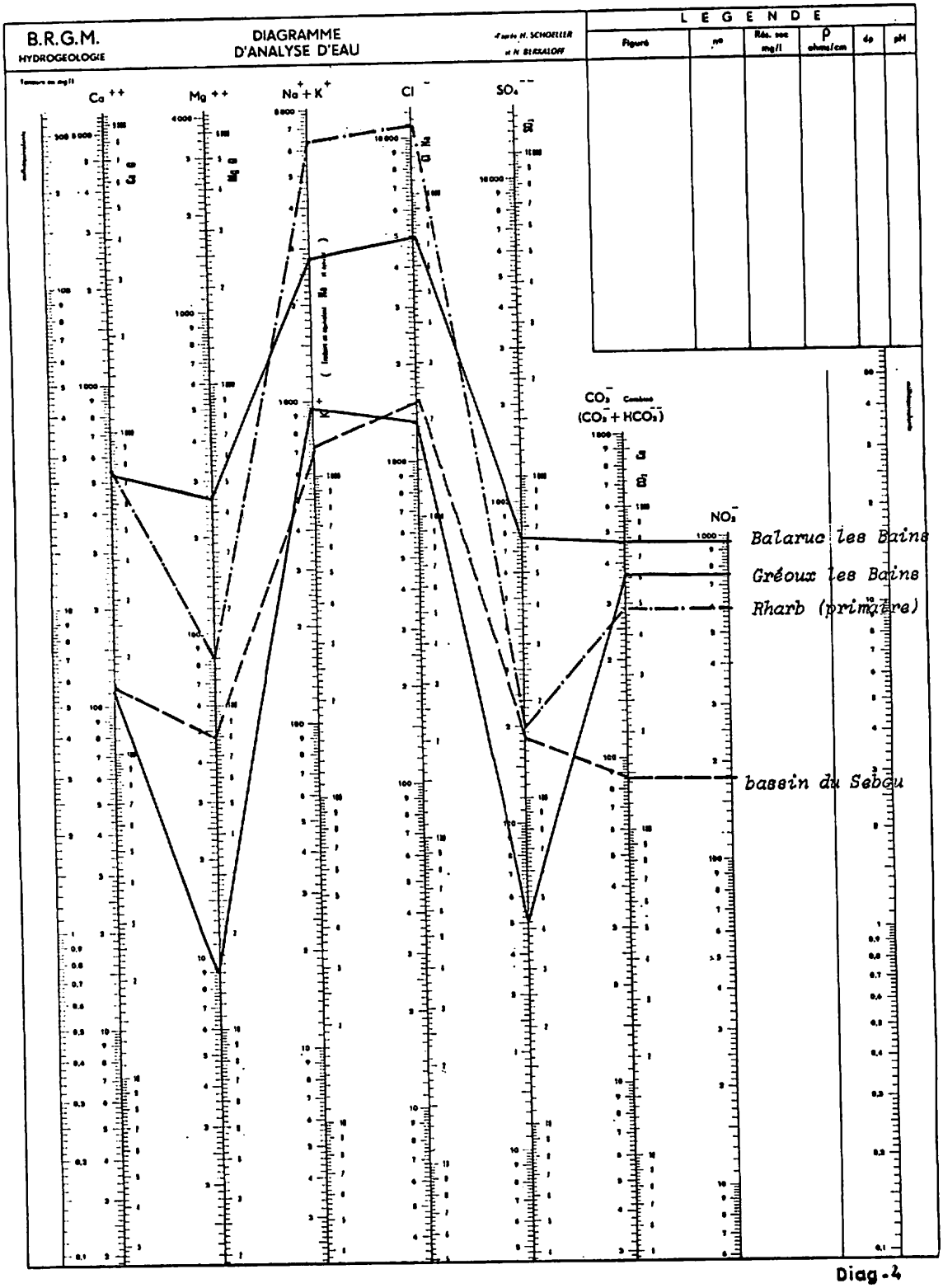
Diag. 1


B.R.G.M.
HYDROGEOLOGIE
DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU
L E G E N D E
Figuré
ep
Rés. sec mg/l
ρ ohms/cm
dp
pH
Ca++
Mg++
Na+ + K+
Cl−
SO4−−
CO3− Combiné
(CO3− + HCO3−)
NO3−
Vittel Hepar
Contrex
Pavillon
Sondage plat.
PO4
Moyenne Maulouya

Diag. 2


B.R.G.M.
HYDROGEOLOGIE
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU
d'après H. SCHOELLER et N. BERKALOFF
LEGENDE
Figuré
Rés. sec mg/l
ρ ohms/cm
dp
pH
Ca++
Mg++
Na+ + K+
Cl-
SO4--
CO3- Combiné (CO3- + HCO3-)
NO3-
Maroc
Source El KHALKHA
Nappe de l'Albien
Maroc - Oued Zin
Sassay

Diag. 3


B.R.G.M.
HYDROGEOLOGIE
DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU
LEGENDE
Figuré
n°
Rés. sec mg/l
ρ ohms/cm
dρ
pH
Ca ++
Mg ++
Na + + K +
Cl −
SO4 − −
CO3 − − Combiné (CO3 − − + HCO3 −)
NO3 −
Balaruc les Bains
Gréoux les Bains
Rharb (primaire)
bassin du Sebou

Diag.-4

Faciès bicarbonaté calcique (diagramme n° 1) :
— source minérale de Montfras - Chambon-la-Forêt (Loiret) ;
— eau de la nappe des sables lutétiens du bec d'Ambes (Gironde).

Faciès sulfaté calcique (diagramme n° 2) :
— source minérale de Contrexéville (dans le Muschelkalk) et source Vittel Hépar (Lettenkohle) ;
— eau d'une nappe dans des grès, argiles, gypse infracénomaniens du plateau des phosphates de la meseta marocaine.

Faciès mixte : bicarbonaté calcique, chloruré sodique (diagramme n° 3) :
— source minérale Sassay à Plancoët (Côtes-du-Nord) ;
— eau de l'Oued Ziz (Maroc) au cours d'une crue ;
— eau des sables albiens du Bassin parisien ;
— source El Khalka (Maroc) (émergence dans calcaires gréseux).

Faciès chloruré sodique (diagramme n° 4) :
— eaux minérales des stations de Gréoux-les-Bains (Basses-Alpes) ;
ou de Balaruc-les-Bains (Hérault) comparables à :
— eaux connées associées à des gisements de pétrole (Primaire du Rharb marocain) ;
— eaux de nappe concentrée par évaporation (bassin du Sébou, Maroc).

Ainsi, une eau « minérale » et une eau souterraine banale peuvent avoir la même composition chimique. Mais cette comparaison se limite aux éléments majeurs et ne prend pas en considération les autres paramètres : éléments traces, activité particulière de l'eau à la source, contexte climatique reposant pour le malade en traitement...

Ce n'est donc pas la minéralisation qui fait à elle seule l'eau minérale et le législateur l'a bien compris puisque dans le décret du 12 janvier 1922 modifié le 24 mars 1957 il est précisé dans l'article 1 que les dénominations « eau minérale », « eau minérale naturelle » sont réservées aux *eaux dotées de propriétés thérapeutiques*.

2. - COMMENT L'EAU ACQUIERT-ELLE SA COMPOSITION CHIMIQUE ET COMMENT CELLE-CI ÉVOLUE-T-ELLE ?

L'eau météorique qui tombe sur la surface du sol peut avoir plusieurs devenirs :

1) Une partie est rendue à l'atmosphère par :
— évaporation
— transpiration du milieu végétal
} phénomènes d'évapotranspiration

2) Une deuxième partie ruisselle à la surface du sol.

3) Enfin, une autre partie parvient aux nappes souterraines en général. Au cours de cette pénétration à travers le sol et le milieu non saturé, l'attaque chimique est importante et elle se poursuivra dans l'aquifère à un degré moindre.

La composition des eaux souterraines dépend :
A) de la composition de l'eau de pluie à l'origine ;
B) de la composition du sol agricole qu'elle traverse et des transformations qui ont lieu à ce niveau ;
C) de l'évolution dans l'aquifère, concentration, précipitation, échanges de base.

2.1. Les eaux météoriques.

L'eau météorique se présente sous forme :
a) de pluie généralement peu minéralisée ; la composition de l'eau de pluie seule ne peut donc pas expliquer la chimie des eaux souterraines ; il en est de même de :
b) la neige : celle-ci contient encore moins de principes minéraux en solution.

Parfois, ces eaux sont plus chargées en sels. Ces concentrations sont dues à des apports extérieurs :

1) Influence marine : dans les zones côtières, embruns et vents contribuent à la dispersion dans l'atmosphère de particules de sels dont la mer est une source importante. Ainsi a-t-on pu relever à Rabat en 1963, à 3 km à l'intérieur des terres, une eau de pluie contenant 60 mg de sels dissous par litre d'eau.

2) Influence volcanique : des pertes de gaz libres ou de vapeurs d'eau chargées de gaz dissous au niveau des volcans peuvent modifier la composition chimique des eaux atmosphériques.

Dans la région de Naples, le 5 mars 1954, après une recrudescence d'activité du Vésuve, l'eau de pluie avait une concentration en chlore de 247 mg/l ; cette valeur est vraiment exceptionnelle mais on estime que la minéralisation de l'eau due aux sels marins et aux produits volcaniques peut atteindre 7 mg/l.

3) Influence anthropique : l'eau météorique peut absorber des poussières ou gaz résultant de traitements industriels : par exemple, on a pu observer le 30 mai 1962 à Talence, située à 158 km de Lacq, une eau de pluie contenant 12 mg/l de $SO_4^=$.

4) Influence continentale : les vents peuvent, grâce à des mouvements ascendants, disperser dans l'atmosphère des particules minérales du sol dont certaines sont solubles dans l'eau.

L'eau de pluie contient donc, en général, peu d'éléments chimiques mais ceux-ci ont un rôle extrêmement important servant de base à un processus chimique et physique complexe.

2.2. L'eau dans le sol.

L'étude de la composition chimique de l'eau de pluie, de l'eau dans la partie superficielle du sol, et de

l'eau dans les nappes dans le temps et dans l'espace, a montré que c'est au niveau des sols agricoles que l'eau météorique acquiert une minéralisation différente.

L'attaque chimique des roches, des phénomènes de dissolution et autres réactions avec les minéraux du sol sont les principaux facteurs de modification de la composition chimique des eaux souterraines.

L'eau qui s'infiltre, traverse le sol qui est lui-même un produit de l'attaque mécanique et chimique de la roche mère par les eaux, par le monde végétal et le monde animal.

A ce niveau, les réactions sont nombreuses : parmi celles-ci, on peut citer :

— *Le rôle important des acides.*

a) L'acide carbonique : le CO_2 provient en partie de l'atmosphère dont une très faible partie est dissoute dans l'eau de pluie, mais la plus grande partie du CO_2 qui agit dans l'altération des sols provient du sol lui-même : il a pour origine le monde végétal et animal qui y vit : matière organique vivante ou morte, racines végétales, bactéries qui décomposent la matière organique morte, tout respire et dégage du CO_2 ; les réactions chimiques peuvent aussi en fournir : CO_2 résultant d'oxydation, d'attaque sur les calcaires...

Le CO_2 en excès accroît d'autant plus l'action attaquante des eaux.

b) Autres acides : acides nitriques et nitreux, très actifs, H_2SO_4 résultant de l'oxydation des sulfures, acides organiques issus de la décomposition de végétaux...

— *Hydratation et hydrolyse agissent sur les matières non solubles en détruisant les structures cristallines.*

a) L'hydratation (pénétration de l'eau dans le système réticulaire des cristaux) est un des processus d'altération des plus communs :

Exemple : hydratation de l'anhydrite en gypse parmi les roches sédimentaires ou de la biotite en vermiculite parmi les minéraux de roches métamorphiques.

b) L'hydrolyse dont le point final est une mise en solution ; elle agit surtout sur les sels de bases fortes et est accélérée par la présence d'ions H^+ ; elle joue un rôle important dans la décomposition des silicates.

— *Les mises en solution et concentration.*

a) Par lessivage qui entraîne vers le bas les sels dissous.

b) Variations de conditions oxydoréductrices :

Exemple : l'hydroxyde ferrique passe en solution si le milieu devient réducteur, sous l'action de bactéries réductrices (réduisent $SO_4^=$ en $S^=$ ou HS^-, produisent CO_2).

c) La transpiration des végétaux joue un rôle dans la concentration des principes minéraux, par leur absorption sélective de certains sels.

d) Évaporation des eaux dans la zone d'aération du sol.

— *Les précipitations chimiques.*

Elles peuvent résulter de variations de facteurs tels que degré d'aération du sol, donc du potentiel d'oxydoréduction, de la température, du pH,... dépendent des autres sels qui précipitent ou au contraire sont mis en solution, de l'évaporation... ; les précipitations peuvent entraîner des concentrations telles que des précipités de sels de Fer (hydroxyde ferrique) en milieu oxydant, ou d'aluminium...

D'une façon générale, la quantité et la nature de la matière minérale qui passe en solution sont fonction

— de certains paramètres physiques :
  . structure physique de la roche,
  . température,
  . pression,
  . durée du contact eau-roche ;

— de paramètres physico-chimiques :
  . composition chimique de la roche,
  . sels déjà dissous dans l'eau,
  . pH,
  . potentiel d'oxydoréduction...

L'eau attaque les roches et libère des anions ou cations qui passent ainsi en solution :

1) L'attaque des roches ignées ou métamorphiques produit :

Ca à partir d'apatite $(PO_4)_3\,Ca_5\,(FCl)$, de wollastonite, de fluorine, feldspaths plagioclases amphiboles et pyroxènes.

Mg qui provient de l'altération de l'olivine, de la biotite, hornblende et augite pour les roches ignées, de la serpentine, du talc, diopside et trémolite des roches métamorphiques.

Na à partir des feldspaths plagioclases sodiques, néphéline, sodalite...

K provient des orthoclases, microcline, biotite, leucite et néphéline mais le potassium libéré est souvent repris par des minéraux argileux au cours d'échanges de base.

Fe à partir de pyroxènes, amphiboles, magnétite et pyrite, mais il ne reste en solution, tout comme Si et Al, que dans des conditions bien définies de pH et de Eh.

F à partir d'apatite contenue dans des andésites.

2) L'attaque des roches sédimentaires produit :

Ca par mise en solution de calcite, aragonite, dolomite, anhydrite et gypse.

Mg contenu dans la dolomie.

Na à partir d'évaporite et à la suite d'échanges de base.

K après percolation à travers certains dépôts d'évaporite.

Cl, SO_4 à partir de roches salines, et parfois même d'eaux connées.

F à partir d'apatite contenue dans des dépôts phosphatés.

NO_3 peut avoir une origine organique, industrielle ou agricole, et on peut également trouver NH_3 dans l'eau des régions volcaniques. Outre l'ammoniac, l'eau peut contenir des gaz dissous : CH_4, H_2S, CO_2, qui peuvent venir de l'atmosphère, de volcans, ou résulter de la décomposition des matières organiques du sol, ou de l'action de microorganismes.

Des constituants mineurs en traces (Cr, Fe, Zn, V, As), qui donnent parfois aux eaux souterraines des propriétés thérapeutiques, peuvent également provenir de l'attaque des minéraux des roches (pyroxènes, micas...) ou être extraits directement de l'atmosphère (Be, U ou Th après explosion nucléaire...).

L'eau qui attaque le sol devrait donc se rapprocher de la composition chimique des roches sous-jacentes qui ont contribué à sa formation, mais la durée de contact de l'eau avec le sol n'est pas suffisante pour que la ressemblance soit totale et on a pu constater que les eaux qui circulaient dans le milieu non saturé étaient toujours plus ou moins franchement bicarbonatées calciques, *quels que soient les terrains sous-jacents*.

2.3. L'EAU DANS LA NAPPE.

La composition chimique obtenue par attaque et mise en solution des sels contenus dans les sols et les roches du milieu non saturé connaît au cours du trajet souterrain, dans la nappe proprement dite, une évolution nouvelle.

Les phénomènes modificateurs et plus particulièrement les échanges de bases vont encore jouer un rôle en fonction des durées de contact avec les formations contenant des passées argileuses.

Des précipitations vont se produire en fonction de certains paramètres physico-chimiques : Eh en particulier et produit de solubilité, pH, pression...

La concentration par dissolution ou évaporation va en s'accroissant de l'amont vers l'aval hydraulique et le terme ultime de cette progression est toujours Cl et Na, NaCl étant de loin le sel le plus soluble.

Il est fréquent de suivre dans une nappe l'évolution classique suivante, de l'amont vers l'aval hydraulique : bicarbonatée calcique, sulfatée magnésienne, chlorurée sodique.

CONCLUSIONS

S'il n'a été question ici que des eaux météoriques qui s'infiltrent et vont alimenter les nappes d'eau souterraines, c'est qu'on a pu constater que bon nombre d'eaux minérales ne sont, en fait, que des eaux de nappes.

Ainsi, elles peuvent être affectées comme ces dernières, par les pollutions industrielles, agricoles (engrais) ou humaines, et il est nécessaire de les surveiller et de les protéger comme toute autre réserve d'eau naturelle.

Certaines eaux minérales sont caractérisées par leur température relativement élevée provenant du degré géothermique, consécutif à une infiltration des eaux vers des couches profondes. Cette température est conservée si l'eau remonte assez vite vers son exutoire à la faveur d'une zone de fracture. La remontée d'eau « chaude » à travers des terrains sédimentaires peut donner lieu à des modifications de la chimie de l'eau, acquise dans le sol, et au cours du trajet souterrain dans la nappe (minéralisations secondaires).

Il y a aussi le cas des eaux connées (eaux de mer ou de lac, etc. emprisonnées lors de la sédimentation), ou celui des eaux juvéniles magmatiques formées lors de la cristallisation des magmas et qui ont entraîné un certain nombre de corps volatiles tels que chlore, soufre, fluor, phosphore...

De telles eaux peuvent également être dotées de propriétés thérapeutiques et certaines d'entre elles sont dites minérales, mais elles représentent une partie minime des eaux médicinales et la plupart des eaux minérales ne sont que de banales eaux de nappes souterraines.

RÉSUMÉ

La minéralisation des éléments majeurs ne suffit pas à elle seule à rendre une eau minérale thérapeutique, il faut prendre en considération les éléments-traces, l'effet généralement bénéfique de l'eau prise au griffon, l'environnement climatique de la station de cure, etc.

Quelques analyses prises parmi les eaux minérales thérapeutiques ont été comparées avec celles d'eaux souterraines banales afin de mettre en évidence les ressemblances indiscutables.

On a insisté surtout sur l'origine et l'évolution de la composition chimique d'eaux vadoses alimentées par les pluies qui contiennent peu de matière minérale en solution sauf dans les zones côtières, volcaniques ou industrielles. Au cours du passage à travers le sol (ou de produits d'altération ou de désagrégation de roches) d'importantes réactions chimiques et biochimiques (hydratation, hydrolyse, oxydation puis réduction de sulfures, échanges de bases, augmentation de la teneur en CO_2) se produisent, donnant à l'eau les éléments principaux de sa minéralisation. Parvenue à la nappe, l'eau infiltrée connaît, au cours de son trajet souterrain, de nouvelles réactions chimiques, concentration, dilution, échanges de bases, etc.

La qualité et la nature de la matière dissoute dépendent de la nature physique et chimique des roches, de la température, de la pression, de la durée de contact, des substances en solution, du pH et du Rh.

Enfin, dans le cas, rare, d'eau juvénile (ss) d'origine magmatique ou volcanique, il y a lieu de signaler l'apparition de constituants volatiles tels que F, Cl, S, C, P.

Cette étude est entreprise dans le cadre des recherches méthodologiques du programme propre du Département d'hydrogéologie.

LA TEMPÉRATURE DES EAUX SOUTERRAINES

par J. GOGUEL (B.R.G.M.)

M. L. Armand a fait allusion tout à l'heure au goût des Romains pour les sources chaudes qu'ils utilisaient essentiellement en vue des bains. L'intérêt s'est un petit peu déplacé actuellement et la composition chimique et les propriétés thérapeutiques apparaissent, je crois, plus indépendantes de la température, mais il s'agit néanmoins d'une propriété bien remarquable et dont l'origine mérite quelques réflexions.

Au-delà des sources thermales — je prends sources thermales dans son sens le plus strict — nous nous intéressons actuellement à un autre problème qui est celui des eaux hyperthermales utilisées pour la production d'énergie.

Si l'on peut, par des sondages, atteindre en profondeur des eaux à des températures de l'ordre de 200 ou 250°, il est parfaitement possible, si l'on a un débit suffisant, d'en produire la vaporisation et de les utiliser dans des turbines pour réaliser une production d'énergie.

Ceci est en dehors du sujet, mais je dois tout de même le mentionner, et d'ailleurs le film que vous verrez à la fin de cet après-midi est, au fond, un rappel de ce fait qu'à côté des phénomènes du thermalisme que nous utilisons dans des conditions confortables, il y a un aspect de l'hyperthermalisme naturel qui est quelquefois moins confortable.

Ceci dit, comment peut-on poser le problème de la température des eaux souterraines ? Je le diviserai en un certain nombre d'étapes.

Le premier problème est celui de la température du sol en absence d'eau, ou dans une région de roches totalement imperméables.

Le deuxième, c'est de voir les rapports de l'eau avec cette température du sol, et en dernier lieu la perturbation que les températures de l'eau peuvent apporter à sa circulation.

D'abord la température en absence d'eau. Alors là, si vous voulez, nous allons commencer par la surface.

Pourquoi vivons-nous dans un pays à température tempérée ? Pourquoi l'homme a-t-il pu s'établir sur une planète dont la température était exactement celle qui permet aux réactions biologiques de se produire dans les meilleures conditions ? C'est simplement parce que nous sommes à la bonne distance du soleil. Si nous étions plus près, la température serait beaucoup plus élevée ; plus loin, elle serait beaucoup plus froide. Maintenant on peut peut-être renverser les termes et dire : la vie est apparue sur la terre parce qu'elle était à la bonne distance.

La preuve, c'est que lorsqu'on considère un satellite artificiel qui est soumis aux rayonnements du soleil et à ses propres déperditions d'énergie, il s'y établit une température voisine de 15°, pour fixer les idées. Cela dépend un peu de la manière dont il est peint, et vous savez que l'on agit là dessus. En gros, le satellite ensoleillé prend une température voisine de celle que nous trouvons à la surface. Mais quand par malheur il passe à l'ombre de la terre, cela s'effondre à des — 150° où rien ne marche plus.

Cela nous explique donc la température de la surface, et cette température serait exactement la même si l'intérieur de la terre était complètement inerte, ou plus exactement, le fait qu'il se passe quelque chose à l'intérieur de la terre augmente la température moyenne à la surface de à peu près 1/50e de degré, ce qui est évidemment tout à fait inappréciable.

Mais d'autre part, cette température superficielle présente des fluctuations extrêmement grandes qui elles-mêmes, présentent un certain nombre de périodicités avec le jour et l'année qui dominent.

Ces variations de température pénètrent dans le sol, et elles pénètrent jusqu'à des profondeurs qui sont à peu près comme la racine carrée de la période, mettez 1 mètre pour le jour, 20 mètres pour l'année ; c'est à peu près l'ordre de grandeur.

A ces profondeurs, l'amplitude des variations est pratiquement annulée. Au-delà nous trouvons une augmentation régulière de la température qui est la manifestation du fait qu'il y a un flux de chaleur qui s'échappe de la profondeur vers la surface. Ce flux ext extrêmement faible ; il est de l'ordre de une micro-calorie par seconde et par centimètre carré, sur toute la surface de la terre, y compris les océans, avec tout de même quelques fluctuations. Il y a des régions qui sont un petit peu plus chaudes que d'autres, et en particulier dans les régions volcaniques on peut trouver des flux un peu plus élevés. Mais il faut bien distinguer entre le flux moyen régional et les perturbations locales auxquelles je vais en arriver maintenant.

Alors voilà à peu près ce que ce serait pour un terrain imperméable et sans eau. Nous aurions une augmentation de température avec la profondeur de l'ordre de 1° par trente ou quarante ou cinquante mètres suivant que les roches sont plus ou moins conductrices ; et puis, dans une petite pellicule superficielle, pénétration des variations temporaires.

Considérons maintenant de l'eau qui est dans le terrain.

Eh bien je vais vous proposer un mode d'approche qui est peut-être un petit peu choquant à première vue. Je crois que nous pouvons poser en principe que l'eau qui est dans le terrain est toujours à la température du terrain. Lorsque la circulation est diffuse dans du sable, ou dans une roche fissurée, cette proposition ne soulève aucune difficulté.

Lorsque l'eau remonte par un chenal d'origine karstique, ou une grosse fissure, et nous donne ces sources à fort débit où nous voyons arriver des eaux chaudes dans une région qui ne l'est pas, cela peut paraître un petit peu choquant. Mais en réalité, les parois de la crevasse par laquelle l'eau arrive à la surface se sont mises en équilibre de température avec l'eau. Et c'est une mise en équilibre qui se fait très vite.

Si vous prenez un griffon comme celui d'Aix-les-Bains où il arrive plusieurs centaines de litres-seconde à une température de l'ordre de 45°, et si l'on imagine que brusquement une telle circulation s'établisse au contact d'une roche froide, et que l'on calcule au bout de combien de temps les parois seront réchauffées, on trouve des durées qui se comptent en heures, c'est-à-dire que pour nous géologues cela n'existe pas.

Et au bout de périodes qui se comptent en jours ou en semaines, la gaine chauffée autour de la circulation de l'eau aura des épaisseurs qui se compteront en mètres, avec bien entendu une décroissance régulière de la température, et à ce moment-là les pertes de chaleur deviennent absolument infimes. La gaine échauffée s'élargit progressivement mais très très lentement ; il faudra des années et des années pour que cela fasse quelques dizaines de mètres, et les pertes de chaleur de l'eau, lorsqu'elle circule d'une manière aussi rassemblée, deviennent absolument négligeables.

Je vous ai dit que dans le terrain nous avions comme fait dominant ce flux de chaleur qui se traduit par un gradient de température. Lorsque de l'eau circule dans le terrain, elle transporte de la chaleur et elle va perturber cette répartition de température. Si elle circulait horizontalement dans une nappe à température constante, il ne se passerait rien, il n'y aurait pas de problème. Mais dès que l'eau circule dans un sens différent, soit en s'infiltrant, en descendant, soit en remontant, elle va perturber les choses. De l'eau qui descend, de l'eau de pluie qui s'enfonce dans le terrain par exemple, arrive dans des couches de plus en plus chaudes ; elle se réchauffe, mais elle absorbe pour cela de la chaleur, et par conséquent tout se passe comme si elle transportait des frigories.

Et si nous considérons alors le flux moyen de l'eau de pluie dans une région, il va perturber le flux thermique, mais de l'ordre du centième à peu près, c'est donc absolument négligeable.

Lorsque, sous une rivière par exemple, nous avons des infiltrations beaucoup plus concentrées, concentrées des centaines de fois plus, alors cela peut apporter une perturbation thermique plus marquée. Néanmoins je crois que l'infiltration des eaux joue rarement un rôle très important.

Je peux tout de même vous citer un exemple : le tunnel du Mont-Blanc se trouvait à des températures de l'ordre de 35 ou 40°, et du côté italien on est arrivé sur une grosse crevasse avec une circulation d'eau. Avant d'y arriver, la température du rocher commençait à baisser sur les quelques dizaines de mètres qui la précédaient, et on pouvait prévoir qu'on allait arriver sur une circulation d'eau froide qui devait venir de je ne sais quel glacier, et qui avait modifié la répartition de température. Seulement c'était une circulation rassemblée. Elle avait modifié la température sur une distance de quelques mètres.

Cette perturbation au niveau de la remontée nous intéresse beaucoup plus. Si les remontées étaient diffuses, par un ensemble perméable, là encore la perturbation thermique serait faible. Lorsque ces remontées sont rassemblées, elles vont modifier la température du terrain, et dès que l'eau est bien rassemblée dans une fissure, elle arrive assez rapidement à remonter presque sans perte de température.

D'ailleurs nous pouvons inclure dans cette situation les ouvrages artificiels que sont les sondages. Lorsque l'on fait un trou qui va modifier la circulation de l'eau, et la modifier d'une manière plus ou moins organisée pour qu'une source soit captée, les remontées d'eau chaude par exemple, si l'on a capté une nappe d'eau chaude, mettront quelques minutes ou quelques heures pour réchauffer le sondage, et au bout de quelques jours, au bout de la durée des essais, on sera pratiquement arrivé à l'état de régime dans lequel toutes les parois de ce sondage seront à la température de l'eau qui remonte. C'est un état de régime qui n'est pas un régime absolument permanent, mais les pertes de chaleur deviennent tellement faibles, la progression du domaine chaud autour du sondage devient tellement lente que l'on peut pratiquement ne plus en tenir compte.

Et ce que nous constatons par conséquent, c'est que le régime de température de l'eau est un reflet fidèle du régime de la circulation souterraine à condition de distinguer entre les circulations diffuses, celles au cours desquelles les eaux peuvent réagir sur les roches et modifier leur composition chimique et les circulations rassemblées dans lerquelles les variations thermiques sont faibles.

Un dernier point auquel je voudrais m'attacher très brièvement c'est l'influence que les températures peuvent avoir sur le mode de circulation des eaux. Les eaux chaudes sont, par suite de la dilatation thermique, un peu plus légères que les eaux froides ; et en principe, ceci peut déterminer un régime de thermo-siphon.

Mais l'effet de thermo-siphon ne serait pas suffisant

pour être un facteur important dans la détermination de la circulation des eaux ; mais il peut avoir une certaine importance dans le rassemblement des griffons.

Je prendrai un exemple un peu extrême, c'est plutôt de l'hyper-thermalisme, c'est à Hammam-Meskoutine, en Algérie. Je crois d'ailleurs qu'il y a une exploitation thermale, mais il jailli 500 litres-seconde à 100°, ou 99°. C'est une circulation assez ancienne qui a déterminé des phénomènes extrêmement spectaculaires sur le plan touristique, des cascades de concrétions, etc. Il y a entre autre un endroit où l'on voit la trace d'anciens griffons qui sont des petites pyramides de tuf calcaire qui ont de 2 à 3 mètres de haut, et il y en a plusieurs centaines. On l'a interprété en disant que ce sont les femmes d'un cheik qui auraient été pétrifiées à la suite de leurs péchés... Mais ceci n'arrive pas toujours...

L'interprétation que l'on peut en donner c'est que ce sont des griffons successifs. Alors pourquoi est-ce que chacun de ces griffons a évolué avec de l'eau qui devait jaillir au niveau du sol, qui a concrétionné le pourtour, qui a élevé son point d'émergence, jusqu'à le porter à 2 ou 3 mètres, et à ce moment-là a disparu au profit d'un autre griffon ?

Je crois qu'on peut l'interpréter de la façon suivante : il y a en profondeur, à une profondeur que l'on peut considérer comme une inconnue, une nappe d'eau en équilibre avec le terrain, qui doit être à 100°. Et puis, par suite d'un déséquilibre de pression, cette eau tend à remonter vers la surface si elle trouve à un certain moment une fissure. Dans cette fissure elle va trouver un gradient de température qui va entre les 20° moyens de la surface et les 100° de la profondeur. L'eau se met à circuler dans cette fissure et va modifier la répartition des températures.

Assez rapidement, comme je vous l'ai indiqué, la température va être de 100° sur toute la longueur, et le poids de la colonne d'eau, la pression qu'elle exerce à sa base correspond à une densité de l'eau à 100° sur toute la hauteur.

Dans les autres fissures, celles dans lesquelles l'eau ne circule pas, la densité de l'eau varie entre la densité à 100° et la densité à 20° à la surface. La pression est par conséquent plus forte.

Donc l'eau qui a commencé à s'écouler dans une certaine voie, va continuer ; la circulation de l'eau chaude remontant s'attire et la circulation tend à se rassembler. Il faut quelques heures ou quelques jours pour que ceci s'établisse dans un endroit comme Hammam-Meskoutine. Et lorsque c'est établi, cela l'est assez bien pour que le rassemblement de la circulation subsiste malgré la contre-pression qui résulte de ce que dans ces conditions particulières d'émergence, le griffon édifie une pyramide qui surélève le niveau d'écoulement de l'eau jusqu'au moment où la hauteur atteint deux ou trois mètres. A ce moment-là l'équilibre est rompu. La pression due à la colonne d'eau chaude à 100° plus deux mètres de pression devient supérieure à la pression d'une colonne d'eau à une température variant de 100 à 20°. La circulation s'arrête, et elle reprend dans une autre fissure.

Nous avons là tous les termes d'une équation. Je ne vous imposerai pas le calcul, mais si nous prenons comme inconnue la profondeur de la nappe thermale, nous pouvons résoudre l'équation et montrer que c'est aux environs d'une centaine de mètres.

C'est un cas extrême, mais je pense que dans l'étude des captages, des captages difficiles, ceux dans lesquels il s'agit de séparer une eau thermale d'eaux extérieures qui risquent d'être contaminées et qui n'ont pas les mêmes propriétés, cette stabilisation du griffon par le phénomène thermique est un facteur très favorable et qui doit être utilisé, indépendamment du fait que lorsqu'on travaille sur un captage et que l'on veut chercher l'influence de telle ou telle modification des conditions d'émergence, du niveau de captage, du niveau des eaux froides, le thermomètre est l'instrument le plus rapide pour contrôler les résultats de nos modifications. Nous les constatons en quelques minutes. C'est infiniment plus rapide même que la résistance électrique ou a fortiori qu'une analyse chimique, et c'est en général le guide que l'on utilise au cours du captage. Mais ceci est une autre affaire ; on vous en parlera tout à l'heure.

Je vais demander maintenant à M. Vuillaume, puis à M. Marcé de nous parler de ce que les méthodes modernes peuvent nous apprendre sur le mode de circulation des eaux.

ÉTUDE DES SOURCES THERMOMINÉRALES A L'AIDE DES MÉTHODES STATISTIQUE ET ISOTOPIQUES

par M. LOUVRIER * et Y. VUILLAUME **

Cet exposé concerne deux méthodes modernes dont l'emploi peut être profitable lors de l'étude hydrologique des sources minérales ou thermominérales. Le principe de ces méthodes est exposé en détail dans les articles cités en bibliographie, nous y renvoyons le lecteur. Les résultats de deux études récentes sont commentés ici.

1. TYPOLOGIE GÉOCHIMIQUE DES SOURCES THERMOMINÉRALES PAR LA MÉTHODE D'ANALYSE STATISTIQUE MULTIVARIABLE.

Les données sont celles figurant dans les Annales des Mines de 1961 « Statistique de l'industrie minérale » (1). Ces analyses ont été révisées sous la direction du docteur B. Ninard.

A titre d'exemples, nous avons choisi dans ce catalogue les analyses chimiques de 61 sources minérales françaises parmi les plus connues. Une première étape a permis de transformer les teneurs des éléments majeurs (exprimées à l'origine en milligrammes par litre) en milliéquivalent par litre pour permettre les comparaisons entre ions mono et divallents, de poids atomiques différents ; il s'agit des ions Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, $SO_4^{=}$, $CO_3^{=}$, HCO_3^{-} ; le traitement a été effectué au moyen du programme HYCH (2) ; on a ajouté les variables suivantes : $AC = Na^{+} + K^{+}$; $AT = Ca^{++} + Mg^{++}$; $CS = Cl^{-} + SO_4^{=}$ et la température : T.

Afin de définir une typologie hydrochimique des sources thermominérales françaises choisies, nous avons ensuite utilisé la méthode d'analyse factorielle des correspondances mises au point par le professeur J.P. Benezecri, mise en œuvre au moyen du programme AFACø [le principe de cette méthode a été rappelé en (3)].

Sur la figure 1 sont portés les résultats. Le plan de cette figure est celui des deux premiers axes factoriels orthogonaux ; il rend compte approximativement de 90 % de la variance totale de la population considérée dans un système à 11 dimensions orthogonales (soit autant que de variables) ; ainsi les 10 % de la variance totale négligée se répartissent sur les 9 axes orthogonaux restants.

Sur ce plan, la répartition des variables permet les commentaires suivants : l'axe 1 différencie les ions majeurs entre eux ; à l'intérieur de la population, une séparation nette existe entre les eaux à faciès bicarbonaté sodique-potassique ou chloruré sodique et les eaux à faciès sulfaté calcique ou magnésien ; le long de l'axe 2 existe une opposition entre température d'une part et teneurs en éléments majeurs d'autre part.

La répartition des échantillons caractéristiques des sources choisies apparaît sur cette même figure 1 ; le groupe Vichy-St. Yorre apparaît divisé en deux sous groupes, plus homogènes, de même que le groupe Vittel-Contrexéville ; d'autres bassins offrent des répartitions plus dispersées évoquant une différence d'origine.

La relation entre les échantillons et les variables est évidente ; si les eaux du groupe Vichy-St. Yorre ont un faciès essentiellement bicarbonaté sodique, il apparaît que les températures d'émergence sont cependant très différentes ; il en va de même pour les eaux du groupe Vittel-Contrexéville dont le faciès chimique est du type sulfaté calcique. Ainsi, pour la population considérée, la température apparaît comme une variable discriminante.

Cette méthode d'interprétation statistique a permis de classer les sources thermominérales françaises d'après leur faciès chimique et leur température ; il a été possible de dégager des familles et des points isolés.

Il serait également possible d'opérer un tel classement à partir d'autres données chimiques concernant les éléments en traces ou encore des données hydrogéologiques ou même thérapeutiques et de comparer les résultats obtenus après ces opérations.

2. APPLICATION DES MÉTHODES ISOTOPIQUES A L'ÉTUDE DU RENOUVELLEMENT DE L'EAU THERMOMINÉRALE.

Les isotopes radioactifs naturels créés dans l'atmosphère peuvent servir de marqueur du cycle de l'eau ; ils permettent d'estimer le taux de renouvellement de l'eau dans les nappes et de « dater » l'eau des sources thermominérales. Il serait ainsi possible de savoir s'il y a apport d'eau météorique dans certaines sources thermominérales des régions de socle.

Nous préparons actuellement une étude dans ce sens ; mais voici à titre d'exemple les résultats d'un

(*) Université de Paris-VI.
(**) Département d'hydrogéologie du B.R.G.M. - Service géologique national, Orléans.

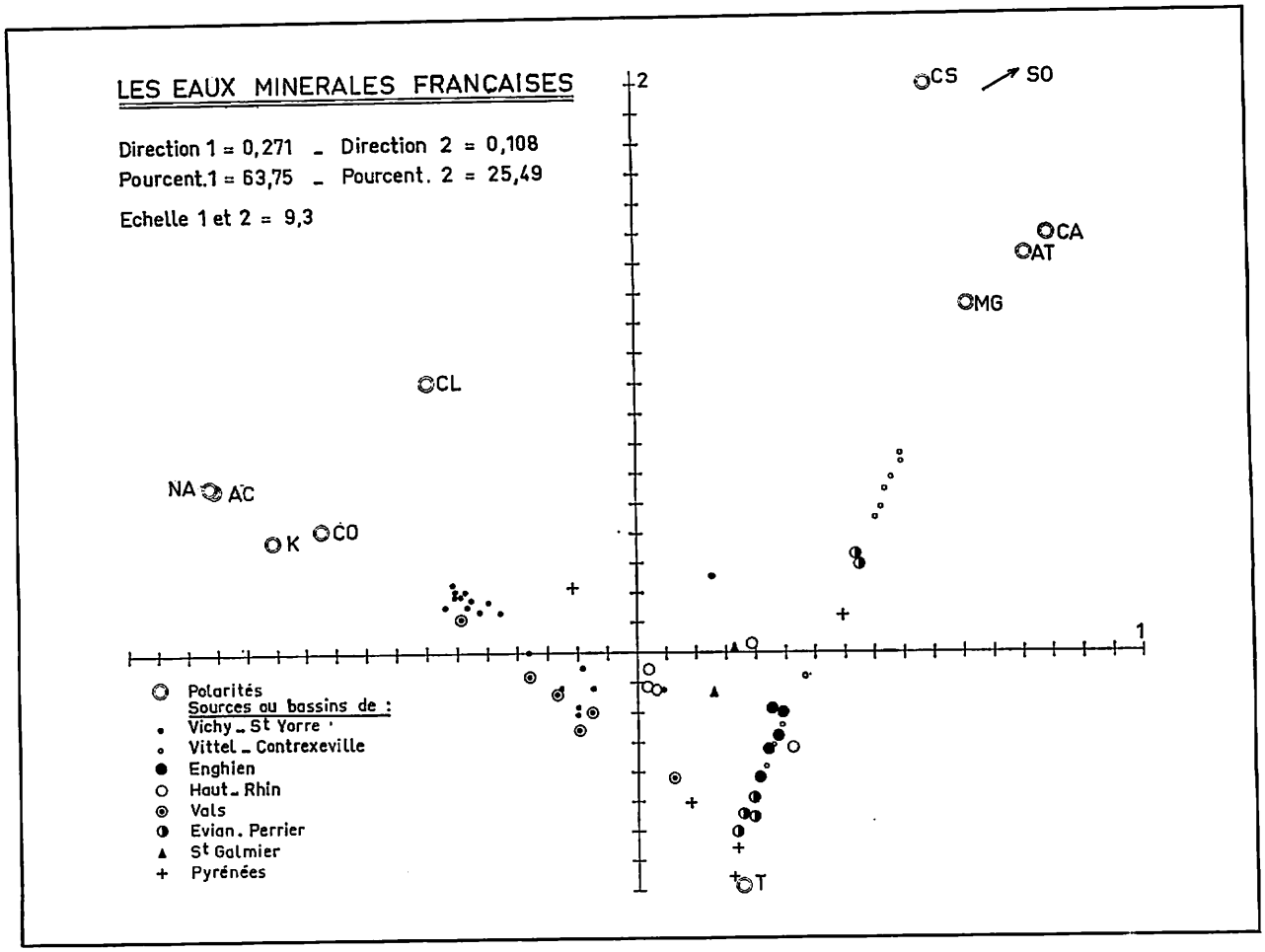


FIG. 1

travail comparable (4) concernant une nappe dont l'eau d'excellente qualité s'apparente à celle de certaines nappes hydro-minérales.

La figure 2 montre les courbes d'iso-radioactivité, tracées dans la nappe de l'Albien du Bassin de Paris et réalisées à partir des observations portant sur une soixantaine de puits et forages profonds. L'équidistance choisie entre les courbes rend compte de différences d'activité correspondant à une période de ^{14}C, soit environ 5 700 ans.

On observe à la périphérie de l'aquifère de fortes activités indiquant que l'eau est parvenue depuis peu dans le système (entre 1 000 et 5 000 ans suivant les régions). Par contre, en zone centrale, sous Paris et la Brie, l'eau aurait un « âge » au moins égal à 30 000 ans.

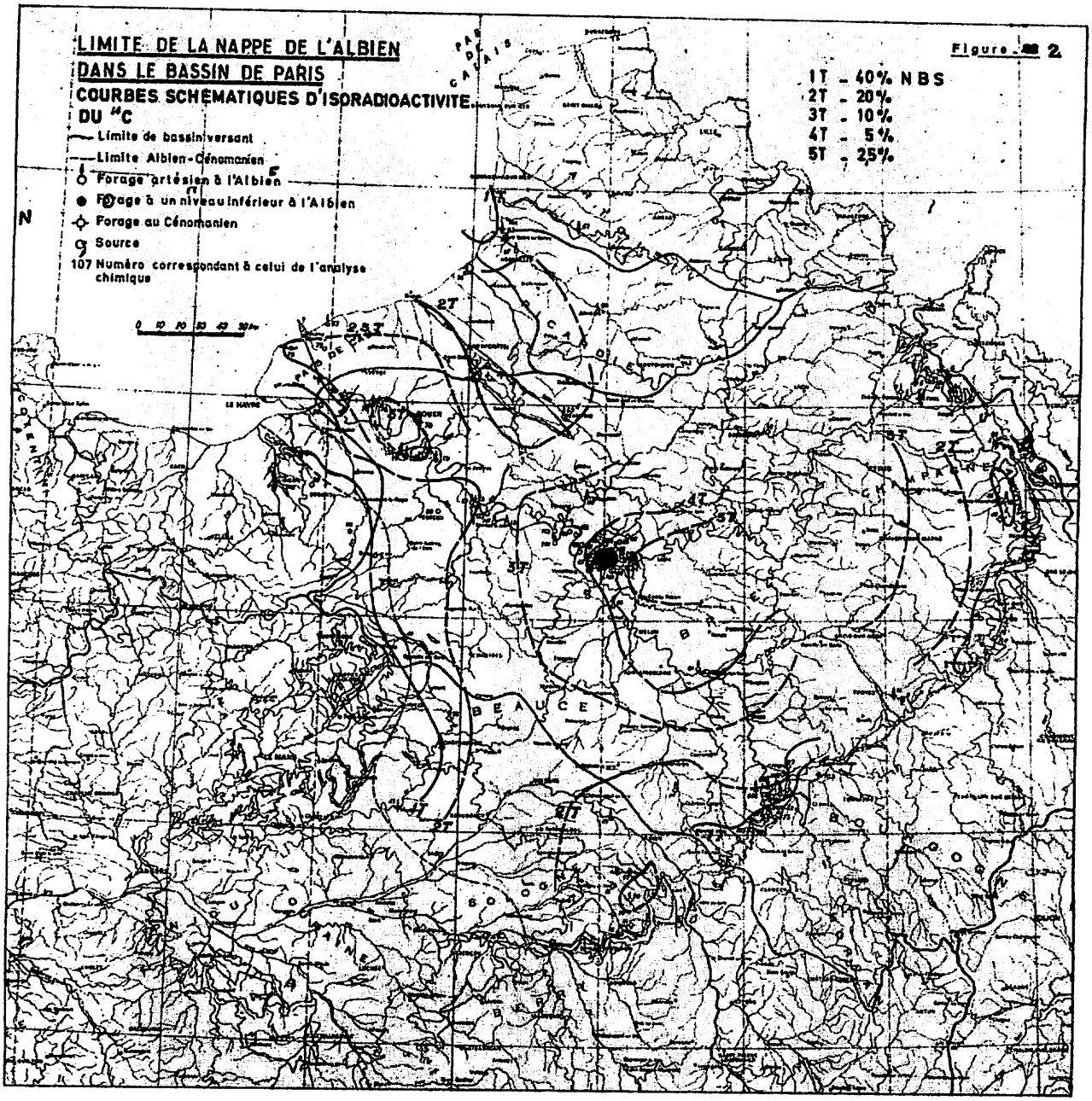
Pour des raisons tenant compte à la fois du principe de la méthode au carbone 14 et de l'hydrogéologie du système, il n'est pas possible de préciser l'âge de l'eau. Une discussion plus détaillée de ces questions est faite en (5).

Après cet exposé succinct, il apparaît cependant que les méthodes isotopiques, dont celles au ^{14}C évoquées ici, employées conjointement avec les méthodes géochimiques, peuvent apporter des informations nécessaires à la connaissance du renouvellement de l'eau, aussi bien dans les nappes « banales » que dans celles à eaux minérales. Dans les sources thermominérales, il sera possible par ce moyen de faire la part d'un éventuel apport d'eau météorique récente.

En conclusion, les méthodes isotopiques et statistiques, replacées dans le cadre des études hydrogéologiques peuvent apporter une aide efficace dans l'étude des sources thermominérales.

BIBLIOGRAPHIE

1. Nomenclature des sources minérales françaises au 31 décembre 1961, in : Statistique de l'industrie minérale 1961. Annales des Mines, Bureau de documentation minière, p. 163-271.
2. Possibilités actuelles de traitement automatique de données hydrochimiques par ordinateur : programmes HYCH, HISTO, GRAD, AFACO, par P. SOLETY et Y. VUILLAUME. Rapport inédit, BRGM, 70 SGN 233 HYD, 1970.
3. Exemple de traitement statistique de données hydrochimiques. Application aux nappes du Calcaire carbonifère



et de la Craie dans le Nord, par P. CAZES, P. SOLETY, Y. VUILLAUME. Rapport inédit, BRGM, 71 SGN 098 HYD, 1971.

4. Étude par le radiocarbone de la nappe captive de l'Albien du Bassin de Paris, par J. EVIN et Y. VUILLAUME, in : C. R. du congrès « Isotope Hydrology », p. 315-332, Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, 1970.

5. Utilisation des méthodes isotopiques et hydrochimiques en hydrogéologie. Application à l'étude de la nappe de l'Albien dans le Bassin de Paris par Y. VUILLAUME, Thèse 3e cycle, Géodynamique, Paris, 1971.

ÉLÉMENTS D'HYDROGÉOLOGIE ISOTOPIQUE

Applications aux sources minérales d'Évian et du Mont-Dore

Adrien MARCÉ

RÉSUMÉ

Les études isotopiques en hydrogéologie permettent de résoudre certains objectifs pratiques. L'utilisation des isotopes radioactifs naturels (^3H, ^{14}C) ajoute une échelle de temps aux grandeurs physico-chimiques classiques. Les isotopes stables de l'oxygène et du carbone donnent le moyen de déterminer l'origine et le comportement de l'eau et des carbonates.

Deux exemples relatifs aux sources minérales sont présentés :

— Source Evian-Cachat : les mesures isotopiques ont permis de déterminer la zone d'alimentation de la nappe ;

— sources du Mont-Dore : les analyses tritium et de l'oxygène montrent l'origine météorique de ces eaux et permettent d'émettre des hypothèses sur leur aire d'alimentation. Les analyses du carbone 13 indiquent par ailleurs que le gaz carbonique provient d'un carbonate marin.

Il serait souhaitable que des mesures isotopiques soient effectuées systématiquement, comme les analyses chimiques, sur toutes les eaux minérales.

A. — EMPLOI DES TECHNIQUES ISOTOPIQUES

La Géologie isotopique, riche maintenant de plus de vingt ans de recherches, de perfectionnements techniques et théoriques, et d'applications expérimentales a atteint sa période de maturité, et peut être considérée comme fondamentale.

Indépendamment des mesures d'abondance isotopique destinées aux recherches de chronologie absolue, méthodes très utilisées, y compris pour la datation des roches lunaires, l'étude des isotopes stables représente un outil primordial, plus particulièrement en hydrogéologie. La mesure des teneurs des isotopes radioactifs (^3H, ^{14}C) dans cette discipline permet d'entreprendre des études hydrochronologiques dont le but est la détermination du « temps de renouvellement » des eaux d'une nappe.

I. — LES ISOTOPES STABLES DE L'OXYGÈNE ET DU CARBONE.

L'étude des variations isotopiques naturelles des éléments stables a pris une importance considérable au cours des dernières années, apportant des données précises dans différentes disciplines géologiques telles que la pétrographie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, l'océanologie. La notion d'isotopes stables est la conséquence d'une théorie de Soddy (1910), visant à expliquer les variations de masse atomique de certains éléments qui occupent la même place dans le système périodique de Mendeleev, donc ayant le même nombre de protons dans leur noyau, mais dont la masse atomique varie.

H. C. Urey en 1947 a montré le premier l'intérêt de l'étude de la teneur en isotopes stables des composés naturels [1]. Basée sur des raisonnements thermodynamiques, sa théorie de la variation de composition isotopique des éléments résulte de la possibilité d'un « fractionnement » dans la nature, en fonction des conditions physiques. De ce fait naquit l'hypothèse que les composés naturels pouvaient conserver dans leurs proportions isotopiques, certaines particularités de leur histoire.

Le fractionnement isotopique naturel n'aboutit jamais à une grande variation de composition, comme d'autre part la concentration en isotope le moins abondant (généralement le plus lourd) est très faible, les analyses consistent à mesurer des variations faibles d'une quantité elle-même petite. Les techniques de spectrométrie de masse ne permettent pas d'effectuer des mesures absolues avec suffisamment de précision [2]. Il est donc préférable de procéder par mesures relatives, c'est-à-dire que les mesures sur l'échantillon sont faites par rapport à un « étalon » de référence. On définit ainsi une valeur « delta » (δ) telle que si l'on pose :

$$R = \frac{\text{abondance isotope lourd}}{\text{abondance isotope léger}}$$

$$\delta = \left[\frac{R\ \text{échantillon}}{R\ \text{étalon}} - 1 \right] 1\,000$$

Les variations de concentrations étant très faibles, le facteur 1 000 permet une simplification des résultats.

Si δ est positif, il y a enrichissement en isotope lourd, inversement si δ est négatif il y a appauvrissement.

A. O. Nier en 1950 a déterminé l'abondance relative de différents éléments tels que le carbone, l'oxygène, l'argon et le potassium [3]. Pour les deux éléments

Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.), Service géologique national, B.P. 6009, La Source - 45-Orléans 02.

nous intéressant plus particulièrement, la répartition naturelle des isotopes est la suivante :

pour l'oxygène, trois isotopes stables : ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O

	^{16}O	^{17}O	^{18}O
Atmosphère	99,759 %	0,0374 %	0,2039 %
Eau	99,760 %	0,0420 %	0,1980 %

pour le carbone, deux isotopes stables : ^{12}C, ^{13}C

^{12}C	^{13}C
98,892 %	1,108 %

Ces valeurs ne constituent en fait que des moyennes, la mesure sur des échantillons des écarts par rapport à ces moyennes conduit aux interprétations géologiques ou hydrogéologiques.

1) *Isotopes de l'oxygène.*

Dans l'analyse isotopique de l'oxygène on n'étudie que les variations du rapport $^{18}O/^{16}O$. En effet l'oxygène 17 se trouvant en faible proportion, son étude est malaisée ; par ailleurs son comportement se déduit aisément de celui de ^{18}O.

Dans la nature la principale source de la vapeur d'eau atmosphérique est l'eau des grandes masses océaniques. Point de départ et d'aboutissement des cycles hydrologiques, les océans jouent le rôle de bassin-tampon où les différents fractionnements isotopiques constatés localement se compensent ou s'annulent. C'est pour cette raison qu'à la suite des travaux d'Epstein et Mayeda [4] et H. Craig [5], l'eau des océans a été choisie comme étalon universel. Celui-ci est appelé communément Smow (Standard mean ocean water), il représente la composition isotopique moyenne de l'eau océanique et son delta est zéro par définition.

Le processus d'évaporation déclenche celui du fractionnement, l'isotope le plus léger ayant tendance à passer plus facilement en phase gazeuse. Le coefficient de fractionnement est une fonction inverse de la température : pour l'eau, à la pression atmosphérique, il est peu différent de 1 à 100° C et augmente quand la température diminue. Il en résulte un fractionnement plus important à basse température.

Dans le cas de la condensation de la vapeur, le processus est l'inverse de celui de l'évaporation : la phase liquide naissante est plus riche en isotopes lourds au détriment de la phase vapeur. Il en résulte, au fur et à mesure des condensations, donc de la formation des précipitations un appauvrissement en isotopes lourds de la vapeur d'eau atmosphérique, d'autant plus grand que la température de condensation est plus basse.

Par conséquent, en raison du fractionnement isotopique, qui dépend de la température, les précipitations auront une composition isotopique variable qui sera fonction :

— de l'histoire des masses d'air qui leur donnent naissance, donc,
  . de la composition de l'eau à partir de laquelle la valeur s'est formée,
  . du nombre et de la durée des processus d'évaporation et de condensation auxquels a été soumise précédemment la masse d'air ;
— du degré d'évaporation des précipitations au cours de leur chute au sol (important dans les régions arides),
— de la quantité relative et de la composition isotopique du matériel réévaporé rentrant dans la masse d'air où se forment les précipitations,
— de la température pendant laquelle se produit la précipitation. Il en résulte que :
  . les précipitations présentent des variations saisonnières, les pluies d'été étant plus riches en ^{18}O,
  . une relation simple existe entre le gradient thermique (température/altitude) et le gradient isotopique (composition isotopique/température). Ce dernier point est important dans le cas de la recherche de l'origine des eaux des nappes dans des régions où les différences de relief sont importantes.

2) *Isotopes du carbone.*

La mesure du rapport des isotopes stables du carbone $^{13}C/^{12}C$ peut donner des indications sur l'origine du carbonate dissous dans l'eau [6]. Les résultats sont exprimés par rapport au standard P.D.B.1 dont la composition isotopique est celle de la calcite d'un rostre de Bélemnite de la Peedee Formation de Caroline du Sud (Crétacé supérieur).

Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées sur l'origine du carbone et sur celles du CO_2 formé dans des conditions de température comprises entre 600° K et 1000° K :

— un carbone d'origine ignée (magma silicaté) a une valeur voisine de celle du carbone extrait des laves [7] :

$$\delta\ ^{13}C = -20\ ‰ \pm 5$$

Le CO_2 formé aurait une composition isotopique comprise entre — 15 ‰ et — 2 ‰ :

— un carbone d'origine de carbonates sédimentaires marins a un $\delta\ ^{13}C$ peu différent de zéro. Le CO_2 formé par décomposition thermique aurait une composition isotopique comprise entre — 4 ‰ et + 2 ‰ ;

— un carbone d'origine des « carbonatites primaires » a un $\delta\ ^{13}C = -6\ ‰ \pm 2$. Le CO_2 formé aurait une composition isotopique comprise entre — 8 ‰ et — 2 ‰ ;

Par ailleurs un carbone en provenance du CO_2 atmosphérique, par décomposition des matières organiques a un $\delta\ ^{13}C = -25\ ‰ \pm 7$.

Il est bien évident que ces valeurs ne sont que des ordres de grandeur, car il faut toujours tenir compte

de fractionnements éventuels ou de combinaisons de carbones d'origine différente.

II) Les isotopes radioactifs de l'hydrogène et du carbone.

Un des problèmes essentiels en hydrogéologie est la détermination du *temps de renouvellement moyen* des eaux souterraines [9]. Si l'on désigne par V le volume d'eau souterraine, par ΔV le volume des entrées ou des sorties pendant le temps Δt, le temps de renouvellement T est donné par la relation simple :

$$T = \frac{V}{\Delta V / \Delta t} = \frac{V}{R} = \frac{V}{P - E}$$

R représente la contribution réelle au renouvellement, P les précipitations, E l'évapotranspiration.

Il faut remarquer que ceci n'est valable que lorsque la nappe est à l'équilibre, c'est-à-dire lorsque le volume d'eau ΔV entrant est égal au volume d'eau sortant. D'autre part la nappe doit être circonscrite dans des limites étanches.

La « datation » des eaux souterraines est possible par la mesure de la décroissance d'un radio-isotope. Dans le cas théorique où il n'y a pas mélange dans la nappe, la concentration radioactive initiale pour un isotope donné (C_0) décroît selon la formule classique suivante :

$$C = C_0 e^{-\lambda t}$$

Dans le cas où il y a mélange la quantité de radioélément qui quitte la nappe (RC) est égale à la quantité de radioélément qui a pénétré dans la zone de recharge ($R C_0$), diminuée de la quantité (λVC) disparaissant en raison de la décroissance radioactive :

$$R C_0 = RC + \lambda VC$$

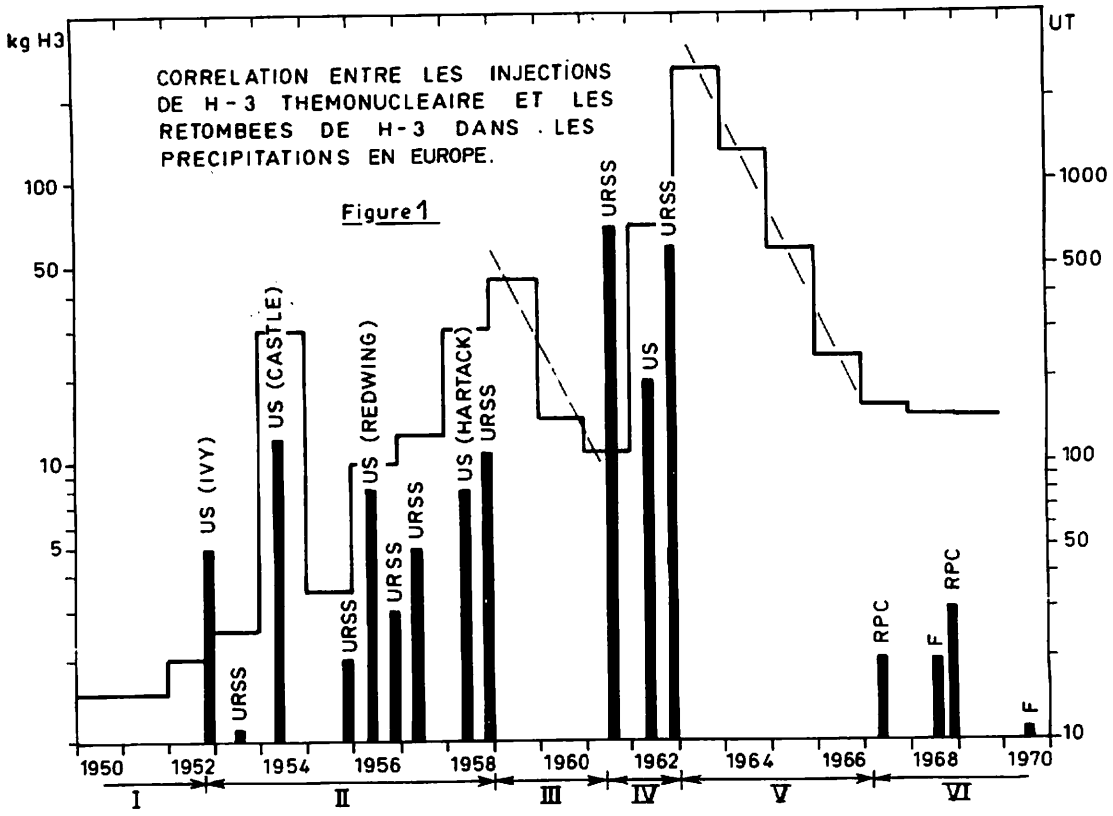
$$\text{comme } T = \frac{V}{R} \text{ on obtient } T = \frac{1}{\lambda} \frac{C_0 - C}{C}$$

Les radio-isotopes naturels d'origine atmosphérique tels que ceux de l'hydrogène (tritium, ^3H) ou du carbone (^{14}C), sont généralement produits par l'action de la composante neutronique du rayonnement cosmique sur les constituants gazeux de l'atmosphère. Cette production, qui peut être calculée, est fonction de plusieurs paramètres, tels que l'altitude, la latitude et le temps.

Par ailleurs, les explosions nucléaires sont à l'origine de la présence dans l'atmosphère de nombreux radio-isotopes artificiels, provoquant particulièrement l'augmentation brutale des activités du tritium ou du carbone 14.

1) *Le tritium.*

Le tritium ^3_1H ou T, isotope radioactif, masse 3 de l'hydrogène, se désintégrant avec une période de



12,26 ans, est un émetteur de rayonnement β de très faible énergie (énergie maximale de 18,6 Kev). Les teneurs sont évaluées en unité tritium : U.T., ce qui correspond à un atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène. Du point de vue radioactivité, cette valeur est faible, puisque un picocurie par millilitre (1 pci = 10^{-12} Ci) est équivalent à 305 U.T.

Les essais thermonucléaires aériens qui ont débuté en 1952 ont provoqué une injection massive de tritium dans l'atmosphère (fig. 1). Le tritium est, pour l'essentiel, rapidement intégré aux molécules de la vapeur d'eau atmosphérique, retombant sur le globe sous forme des précipitations [10]. De l'ordre de quelques U.T. avant les explosions, les teneurs en tritium des eaux de pluie ont montré une augmentation brutale à partir de 1952, date du premier essai américain IVY atteignant un maximum de 3 à 5 000 U.T. en 1963, date des derniers essais. Depuis, l'activté tritium des eaux de pluie montre une baisse progressive générale, avec cependant des variations saisonnières (pic estival), des variations avec la latitude ou des variations en fonction de l'éloignement des côtes (fig. 2).

2) *Le carbone 14.*

Il existe des eaux plus anciennes qui entrent dans des cycles hydrogéologiques beaucoup plus longs que ceux pouvant être étudiés à l'aide du tritium. Leur temps de renouvellement moyen est généralement compris entre 10^2 et 10^4 ans ; dans ce cas de nappes d'eau très anciennes, il est possible d'employer la méthode du radiocarbone.

Le ^{14}C est un isotope radioactif se désintégrant avec une période de 5670 ± 30 ans. C'est un émetteur de rayonnement β de faible énergie (énergie maximale de 158 Kev). Formé dans l'atmosphère sous l'action des neutrons cosmiques sur l'azote, il est rapidement oxydé en CO_2 [12].

Certaines variations ont pu être constatées par rapport à la teneur moyenne en ^{14}C dans l'atmosphère : elles sont le fait de variations de l'intensité du champ magnétique terrestre ou de l'intensité du vent solaire, de changements climatiques (variations de température), de l'activité plus ou moins grande de la biomasse terrestre. A ces variations, se sont ajoutés récemment deux phénomènes. En effet depuis un siècle

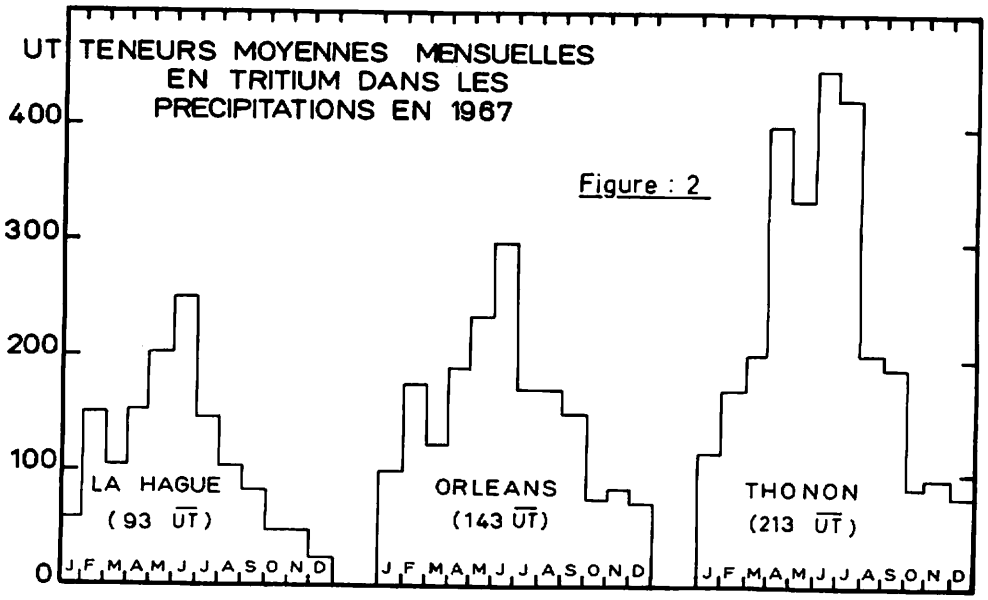


Figure : 2

La connaissance des caractéristiques isotopiques des précipitations a permis d'établir un modèle mathématique simple permettant, relativement à une échelle de temps annuelle, de rendre compte de la dynamique des eaux souterraines [11]. A noter que si la teneur en tritium d'une eau est de l'ordre de quelquesU.T., cette donnée indique que cette eau est antérieure aux premières explosions de 1952, et que l'apport d'eaux récentes est faible.

environ, il faut tenir compte de la combustion des produits carbonés fossiles (charbons, pétroles) qui entraîne une diminution de la teneur en ^{14}C dans l'atmosphère (effet Suess). Enfin la production artificielle de ^{14}C par les essais thermonucléaires a été nettement ressentie depuis 1952.

On admet à cette échelle de temps des « eaux anciennes » que le taux de production de ^{14}C est constant et voisin de 100. A la surface du sol, le rôle des racines

et des micro-organismes détermine une valeur élevée en CO_2 (jusqu'à 5 % alors que dans l'atmosphère, la teneur n'est que de 0,03 %). Il en résulte que l'eau de percolation peut dissoudre beaucoup plus de gaz carbonique possédant la même teneur en ^{14}C que le CO_2 atmosphérique, car il provient de matières organiques vieilles au plus de quelques dizaines d'années. Cette présence de CO_2 (teneur en ^{14}C égale à 100) va conditionner la dissolution du calcaire (teneur égale à 0) suivant la réaction suivante :

$$\underset{\text{Teneur en } ^{14}C}{\begin{matrix} CO_3Ca \\ | \\ 0 \end{matrix}} + \underset{}{\begin{matrix} CO_2 \\ | \\ 100 \end{matrix}} + H_2O \rightleftarrows \underset{}{\begin{matrix} (CO_3H)_2Ca \\ | \\ 50 \end{matrix}}$$

La teneur en ^{14}C du bicarbonate sera égale à 50, puisque provenant pour moitié du CO_2 et du calcaire. La teneur en ^{14}C du bicarbonate décroît avec une période de 5670 ans, il en résulte que l'eau présentant une teneur en ^{14}C de 25 serait « âgée » d'environ 5600 ans et ainsi de suite.

Mais pratiquement, les eaux actuelles présentent des teneurs en ^{14}C comprises entre 50 et 100, ces variations pouvant être dues soit par échange avec du CO_2 provenant de l'oxydation de matières organiques récentes, soit du CO_2 « enrichi » en ^{14}C par les explosions thermonucléaires : ces phénomènes déterminent un « rajeunissement » de l'eau. Par contre des échanges avec du CO_2 d'origine magmatique, ou du calcaire dépourvu de ^{14}C ont pour effet de diminuer la teneur en ^{14}C et de « vieillir » l'eau. Il est possible de se rendre compte de ces échanges en mesurant le rapport $^{13}C/^{12}C$ faisant intervenir les techniques d'analyse des isotopes stables.

Cette méthode a un intérêt certain pour la détermination du temps de renouvellement de nappes d'eau très anciennes (depuis quelques milliers d'années jusqu'à 50 000 ans environ).

L'emploi des techniques isotopiques est une méthode relativement récente d'investigation dans le domaine hydrogéologique. C'est la seule, jusqu'à présent, qui permette, dans le cas de l'oxygène et de l'hydrogène, de connaître le comportement propre de l'eau, sans passer par l'intermédiaire des substances dissoutes. L'étude des isotopes radioactifs tels que le tritium et le carbone 14 en hydrogéologie permet d'ajouter une échelle de temps aux grandeurs physico-chimiques classiques, ce qui est extrêmement précieux pour l'analyse d'un phénomène naturel. Mais il importe que ces études hydrochronologiques menées conjointement avec celles d'hydrogéologie, soient conduites en respectant les échelles de temps où interviennent en particulier certains paramètres évoqués précédemment [13].

B. — APPLICATIONS DES TECHNIQUES ISOTOPIQUES AUX SOURCES MINÉRALES D'ÉVIAN ET DU MONT-DORE

De nombreuses études hydrogéologiques ont fait l'objet d'analyses isotopiques, mais rares sont les résultats concernant les sites d'eaux minérales. Cependant les travaux entrepris sur les sources minérales d'Évian-les-Bains, et sur celles du Mont-Dore montrent l'intérêt de telles études.

I) Les sources minérales d'Évian.

La surveillance isotopique du bassin d'Évian (précipitations, réseau de surface, sondages et sources) est effectuée depuis 1962 par le Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains [14].

Le bassin d'Évian, constitué d'un épais revêtement morainique d'âge quaternaire, s'abaisse depuis une altitude de 900 m, plateau de Vinzier, jusqu'au niveau du lac Léman, à 372 m. La célèbre source d'Évian-Cachat jaillit à 395 m (fig. 3).

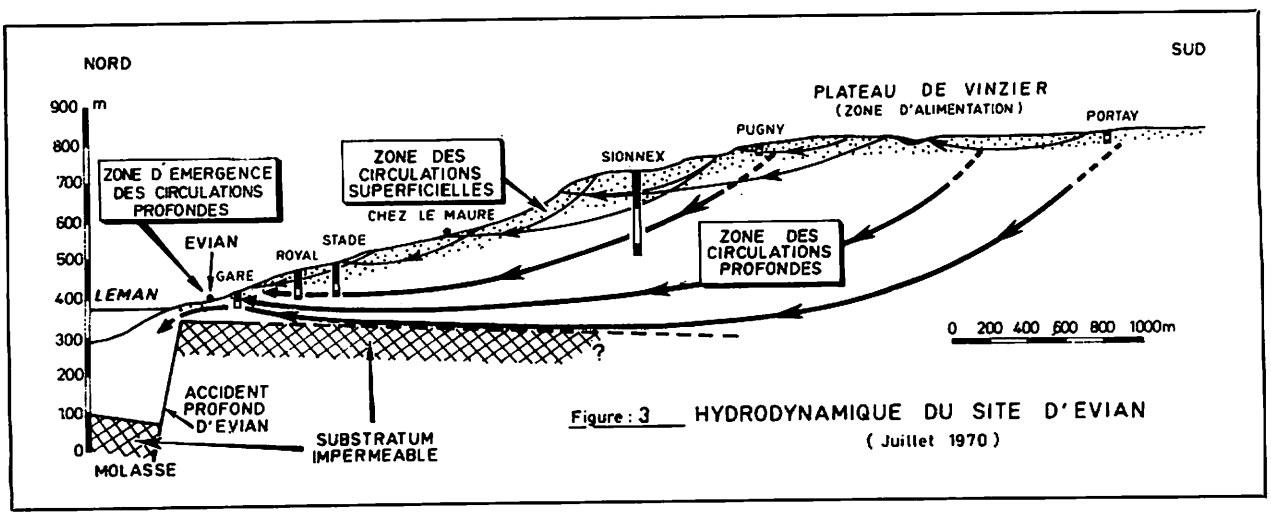


Figure : 3 HYDRODYNAMIQUE DU SITE D'EVIAN
(Juillet 1970)

Les analyses isotopiques de l'oxygène, de 1963 à 1965, ont démontré que l'eau d'Évian ($\delta^{18}O$ = — 10,15 °/oo) ne pouvait provenir du Léman dont la composition isotopique moyenne est inférieure de 2,2 °/oo ; par ailleurs, les teneurs en tritium dans le lac sont voisines de celles des précipitations, alors que la source depuis 1964 n'a jamais présenté d'activité supérieure à 20 U.T.

Au cours de la même période, les relevés pluviométriques ont été effectués à la station du C.R.G. Thonon, dont l'altitude est voisine de celle de l'émergence de la source. La composition isotopique moyenne pondérée de ces précipitations est de l'ordre de — 8,4 ‰. En tenant compte des observations à grande échelle de Dansgaard [15] indiquant un gradient isotopique de 0,7 °/oo par degré Celsius, des mesures locales de température montrant un gradient thermique de 0,6 °C par 100 m, il a été déterminé l'altitude de l'aire d'alimentation de la nappe d'Évian. Celle-ci serait de l'ordre de 800-m, c'est-à-dire correspondant au plateau de Vinzier.

trop courte, seuls le ^{14}C ou le ^{32}Si pourront donner des indications sur l'âge des eaux des circulations profondes, ce qui permettra de calculer le volume des réserves.

II) Les sources thermominérales du Mont-Dore.

L'hydrogéologie de la zone volcanique du Mont-Dore a fait l'objet d'une étude importante par E. Bueno Romero du Laboratoire de Géologie Dynamique de la Faculté des Sciences de Paris [18].

Les émergences des sources thermominérales se situent dans le fond de la vallée de la Dordogne (fig. 4), entre les localités du Mont-Dore (1050 m) et de la Bourboule (890 m), dominées par le massif du Sancy (1886 m). Ces eaux sourdent des fissures d'un filon de trachyphonolite, sur lequel a été construit l'établissement thermal.

Les analyses isotopiques ont été effectuées sur les échantillons prélevés de mars 1965 à septembre 1967 sur les sources César et Madeleine, ainsi que sur d'au-

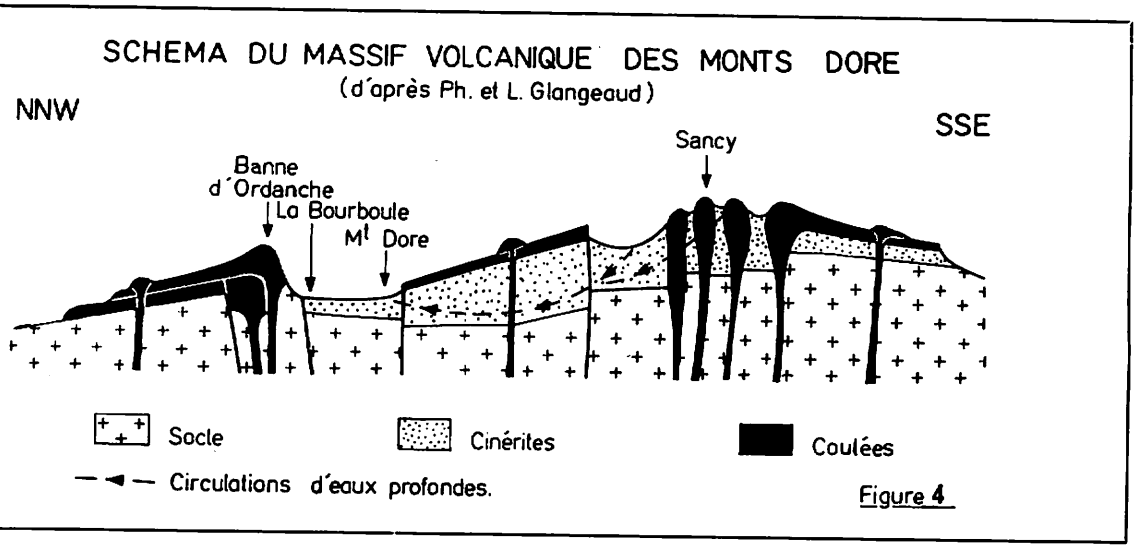


Figure 4

Par ailleurs les basses teneurs en tritium et les fluctuations faibles de la composition isotopique de l'oxygène de la source (de l'ordre de 0,6 °/oo) traduisent des circulations lentes. En effet, les précipitations, s'infiltrant sur le plateau de Vinzier, une partie emprunte des circulations superficielles, alors que l'autre partie participe aux circulations profondes. Ces eaux profondes remontent à la surface à la faveur d'un accident géologique décelé au droit d'Évian [16] et se mélangent avec les eaux superficielles. Les caractéristiques isotopiques de la source et des précipitations (tritium et oxygène) ont permis d'évaluer ce mélange de l'ordre de 95 % d'une nappe largement tamponnée et de l'ordre de 5 % pour les eaux superficielles [17].

En raison des limites du tritium, dues à sa période

tres sources thermominérales du massif, sur les cours d'eau et sur les précipitations.

La composition isotopique moyenne en oxygène des eaux des sources Madeleine et César est voisine de — 9,5 °/oo. Cette valeur élimine la possibilité d'une origine magmatique de ces eaux, dont la teneur devrait dans ce cas être positive (+ 5 à + 15 °/oo) à la suite d'échange avec les silicates très riches en ^{18}O [4]. Par ailleurs, la composition isotopique moyenne des précipitations de l'ordre de — 8,5 °/oo au niveau des résurgences implique une aire d'alimentation de ces sources à une altitude supérieure. Le gradient thermique mesuré pour le Mont-Dore de 0,65° C par 100 m et le gradient isotopique calculé par Dansgaard [15] de 0,7 ‰ par °C permettent d'évaluer l'altitude

de l'aire d'alimentation aux alentours de 1 300 m, donc sur les flancs du massif du Sancy.

L'analyse en ^{13}C du bicarbonate dissous dans l'eau, dont le δ est — 0,8 °/oo (par rapport au P.D.B.), indique une provenance de carbonates sédimentaires, excluant toute origine ignée pour l'anhydride carbonique.

Les déterminations des teneurs en tritium n'ont jamais permis de déceler des activités supérieures à 10 U.T., indiquant de ce fait une origine d'eaux à circulations lentes. Cette hypothèse est confirmée par une mesure de radiocarbone qui correspond à un âge apparent supérieur à 45 000 ans (teneur inférieure à 0,35 % de ^{14}C). Cependant il faut tenir compte des échanges, favorisés par le fort gradient géothermique de la région, entre le bicarbonate dissous marqué par le ^{14}C et le carbonate de l'aquifère dépourvu de ^{14}C : ces échanges ont pour conséquences de « vieillir artificiellement » l'âge mesuré. L'hypothèse d'un « vieillissement » par un carbone mort d'origine ignée ne peut être envisagé puisque la composition isotopique en ^{13}C, excluant une telle origine, élimine la possibilité d'un tel échange.

En tenant compte des recherches récentes relatives aux échanges du carbone, il est possible de supposer que l'âge apparent mesuré n'est pas réel, et d'admettre un âge compris entre 25 000 et 10 000 ans compatible avec les données hydrogéologiques.

L'analyse du ^{14}C indiquant un âge très ancien, les teneurs en tritium faibles, et les petites variations de composition isotopique en ^{18}O (de l'ordre de 0,5 °/oo) montrent la possibilité d'un apport d'eaux récentes superficielles (environ 6 %) aux eaux à circulation profonde.

La teneur élevée en bicarbonates de ces eaux (1 000 mg/l) dont l'analyse isotopique a montré une origine de carbonates sédimentaires reste encore inexpliquée. Deux hypothèses peuvent être émises :

— la présence, non identifiée, de calcaires oligocènes sous les formations volcaniques au-dessus du socle granito-gneissique ;

— l'origine des eaux des sources serait allochtone au massif. Compte tenu de l'âge donné par le ^{14}C (10 000 à 25 000 ans) et de la composition isotopique en oxygène (compatible avec un climat plus froid), l'eau aurait été emmagasinée pendant l'interstade de Paudorf du Würm [19].

Bien que ne restant qu'au stade théorique, ces deux hypothèses résoudraient le problème de la teneur élevée en bicarbonates de ces eaux.

Ces études isotopiques sur les sources thermominérales du Mont-Dore ont permis de montrer qu'elles résultent de la remontée d'eaux profondes *d'origine météorique*, s'effectuant le long des fissures d'un filon de trachyphonolite, sous l'action d'un fort gradient géothermique. L'hypothèse d'une origine magmatique ne peut être retenue aussi bien pour l'eau que pour l'anhydride carbonique.

Ces deux exemples d'études isotopiques sur des sources minérales montrent l'intérêt de l'emploi de méthodes relativement nouvelles. Outil complémentaire pour l'hydrogéologue, elles permettent de déterminer l'origine des eaux souterraines, d'étudier leur « dynamique », de préciser les périmètres de protection.

De même que les eaux minérales font l'objet d'analyses chimiques régulières, il serait souhaitable que dans un avenir proche, un projet d'étude isotopique soit entrepris pour étudier et préserver ce capital que représente l'eau en général et de ce fait les sources minérales.

BIBLIOGRAPHIE

1. UREY H. C. — *Journ. Chem. Soc.*, 1947, p. 562-581.
2. LÉTOLLE R., MARCÉ A., FONTES J. C. — *Bull. Soc. Fr. Min. et Crist.*, LXXXVIII, 1965, p. 417-421.
3. NIER A. O. — *Phys. Rev.*, 1950, vol. 77, p. 789-793.
4. EPSTEIN S., MAYEDA T. — *Geoch. cosmoch. Acta*, 1953, 4, p. 213-224.
5. CRAIG H. — *Science*, 1961, vol. 133, p. 1833-1834.
6. CHEMINÉE J. L., LÉTOLLE R., OLIVE Ph. — *Bull. Volc.*, 1969, XXXII, 3, p. 469-475.
7. CRAIG H. — *Geoch. cosmoch. Acta*, 1953, vol. 3, p. 53-92.
8. TAYLOR H. P., FRECHEN J., DEGENS E. T. — *Geoch. cosmoch. Acta*, 1967, p. 407-430.
9. MANGANO F., MARCE A., MARTIN J. M., OLIVE Ph. — *Bull. B.R.G.M.*, Sect. III, 1969, n° 3, p. 39-46.
10. BOSCH B., GUÉGAN B., HUBERT P., MARCÉ A., OLIVE Ph., SIWERTZ E. — *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1969, t. 270, p. 267-270.
11. HUBERT P., MARCE A., OLIVE Ph., SIWERTZ E. — *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1970, t. 270, p. 908-911.
12. STUIVER M. — A.I.E.A., Radioactive dating and methods of low-level counting, 1967, p. 27-40.
13. GLANGEAUD L. — *Rev. Geogr. phys. et Geol. dyn.*, 1968, 10, fasc. 2, p. 85-135.
14. FONTES J. C., LÉTOLLE R., OLIVE Ph., BLAVOUX B. — A.I.E.A. Isotopes in Hydrology, 1967, p. 401-415.
15. DANSGAARD W. — Tellus XVI, 1964, 4, p. 436-468.
16. MEYBECK M., HUBERT P., OLIVE Ph., SIWERTZ E., GLANGEAUD L. — *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1969, 269, p. 2503-2508.
17. OLIVE Ph. — *Thèse Université de Paris*, 1970.
18. BUENO ROMERO E. — *Thèse Université de Paris*, 1969;
19. OLIVE Ph., MARCÉ A., MANGANO F. — *Rev. de Geo. phys. et Geol. Dyn. Paris*, 1971 (sous presse).

DISCUSSION

M. AUBIGNAT. — Je comprends mal l'acharnement qui vient d'être mis à démontrer que toutes les sources minérales sont d'origine artésienne et que les eaux minérales d'origine magmatique ne constitueraient que de rares exceptions. Vous me permettrez d'exprimer mon profond désaccord avec cette opinion. Je pense, au contraire, qu'à côté des souces minérales, d'origine purement artésienne (talles que celles d'EVIAN, de VITTEL, de CONTREXÉVILLE et d'assez nombreuses autres dans les Alpes et les Pyrénées, qui se caractérisent par leur absence à peu près complète de gaz) il existe de très nombreuses sources d'origine magmatique (dite aussi sources juvéniles) spécialement dans des régions affectées par un volcanisme ancien ou récent. Dans le Massif Central, que je connais bien, il ne me paraît pas douteux, que les belles sources minérales gazeuses qu'il renferme soient d'origine principalement magmatique.

Les tenants de l'hypothèse de l'origine artésienne sont d'ailleurs très mal à l'aise pour expliquer la haute minéralisation de certaines eaux minérales et, surtout, certaines particularités de cette minéralisation ; de surcroît la présence abondante des gaz libres et dissous dans certaines eaux minérales ne peut non plus être expliquée de manière satisfaisante suivant cette théorie.

Je suis tout à fait d'accord, cependant, pour admettre qu'à côté des sources d'origine magmatique et des sources d'origine artésienne, il en existe beaucoup d'autres qui procèdent des deux origines. En effet, il est peu pensable, en particulier, qu'au cours de leur ascension, depuis les profondeurs jusqu'en surface, les eaux juvéniles ne rencontrent pas des eaux d'origine superficielle et qu'elles ne reçoivent pas, par conséquent, un apport plus ou moins important de celles-ci ; on aura alors à faire à des sources mixtes.

Et c'est sans doute à des sources de cette nature que nous avons à faire dans le cas du Mont-Dore qui vient d'être évoqué par l'un des conférenciers. L'isotope 18o, qui a été utilisé pour la datation de cette eau minérale, pourrait alors provenir des seules eaux météoriques venues se mélanger avec les eaux magmatiques avant l'émergence. Cette hypothèse semble être corroborée par le fait que la thermalité des eaux minérales du Mont-Dore (39°) est beaucoup plus faible que celle des sources de la Bourboule (56°) qui n'en sont cependant éloignées que de 3 à 4 Kms, et que leurs minéralisations globales respectives vont dans le même sens (1,9 g d'extrait sec par litre pour le Mont-Dore contre 6,6 g pour la Bourboule).

Enfin, et dans un autre ordre d'idées, mais concernant toujours les sources du Mont-Dore, j'ai peine à m'expliquer que certains éléments minéralisateurs puissent leur être apportés par des eaux artésiennes en provenance de la fosse d'effondrement sédimentaire de la Limagne, comme il a été avancé. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que les sources du Mont-Dore jaillissent à une altitude d'environ 1000 mètres et qu'elles sont éloignées à vol d'oiseau de plus de 30 kilomètres de la Limagne. C'est là, à mon avis encore un argument en faveur de la présence, dans les sources du Mont-Dore, d'eau d'origine magmatique.

M. Louis ARMAND. — Il est tout à fait normal que je relaie M. Aubignat. J'ai été également un peu étonné, de même que nous assistons à une période où ce qui n'est pas le hasard paraît à refuser par un certain nombre de scientifiques, *j'ai été inquiet* tout à l'heure d'entendre dire que tout venait de la pluie. J'avoue franchement que j'aime beaucoup la pluie, puisque d'ailleurs le tritium sert aussi bien à fixer l'âge du vin que l'âge de l'eau, par conséquent il est respectable, et alors il est exact que l'eau des raisins vient de la pluie. Je n'ai jamais prétendu le contraire.

Mais tout à l'heure il y a deux mots qui m'ont un petit peu arrêté : je me suis demandé si l'on n'était pas en train de torpiller le diable... Vraiment penser que l'acide carbonique vient d'ailleurs que des mofettes dans le Massif Central, de je ne sais quoi, de la pluie d'antan... non il faut vraiment ne pas avoir entendu gargouiller les eaux...

Il faut être sérieux. Il y a quand même des choses qui sont volcaniques. Quant à l'acide carbonique, il faudrait savoir si oui ou non on est décidé à dire qu'il est d'origine profonde. Et dans ce cas-là, s'il y a de l'acide carbonique, il peut y avoir d'autres choses.

Ensuite, aller chercher l'eau dans la Limagne pour la faire remonter au Mont-Dore... J'aime bien les plaisanteries, mais je ne les situe pas aux mêmes endroits. Bien sûr le jour où on me le démontrera, je dirai que je ne savais pas et je serai content de ne pas savoir.

Cependant, et je reviens à la notion de synthèse dont je parlais au début, s'il y a quand même de l'arsenic à la Bourboule — pas au Mont-Dore — c'est le moment d'associer toutes ces choses-là. Il est assez rare de trouver de l'arsenic dans les eaux, et dans la pluie, pour une fois je n'en ai jamais encore entendu parler. Je n'ai jamais vu de pluie à arsenic. L'arsenic vient bien de quelque part.

En outre, M. Aubignat sait comme moi qu'il y a des minéralisations profondes, mais qu'il y a une sélectivité très curieuse.

LAMALOU-les-BAINS

(HÉRAULT)

Cévennes méridionales -- Climat toni-sédatif

CENTRE THERMAL
ET KINESITHERAPIQUE
MUNICIPAL

SOURCE USCLADE
STATION OUVERTE TOUTE L'ANNÉE

Douleurs et troubles
de la fonction motrice
Neurologie - Traumatologie
Rhumatologie

Cure thermale
Traitement
de rééducation
et de réadaptation
fonctionnelle

B. P. 3
Tél. 3 - 9
et 34

L'EXPANSION
— EDITEUR —
15, rue Saint-Benoît
— PARIS-6e —

JOURNEE DE REEDUCATION 1971

Sous la présidence des Professeurs
S. de SÈZE et J. DEBEYRE
Secrétaire : Docteur **LEVERNIEUX**

1 volume 15,5 × 21 - 80 pages
25 F - Franco : **27 F**

En vente dans toutes les Librairies spécialisées et à la Librairie des Facultés de Médecine et de Pharmacie
174, boulevard Saint-Germain, 75 - Paris-6e

C.C.P. Expansion, Librairie des Facultés, Paris 5601-33

Établissement Hydrominéral du BOULOU

PYRÉNÉES-ORIENTALES

Foie — Vésicule biliaire — Diabète
Migraines — Allergies

PAVILLON DES SOURCES, OUVERT TOUTE L'ANNÉE

★★★★

HOTEL DES SOURCES **A

1er AVRIL - 1er DÉCEMBRE

Grand Parc - Calme - Détente

L'EXPANSION
EDITEUR
15, rue St-Benoît - Paris-6e

L'ACTUALITÉ RHUMATOLOGIQUE 1970

PRÉSENTÉE AU PRATICIEN

SEPTIÈME CAHIER ANNUEL

Un vol. 17,5 × 22,5 ; 330 pages : **89 F.** — Franco : **94 F**

CAHIER ANNUEL D'INFORMATION ET DE RENSEIGNEMENT

par les médecins du Centre Viggo Petersen

Sous la direction de

S. de Sèze,
A. Ryckewaert,
M. F. Kahn,
A. Dryll

Extrait de la table des Matières : Les rhumatismes inflammatoires. La goutte. Connaissance biologique du rhumatisme. Affections diverses rhumatologiques ou aux confins de la rhumatologie. Les maladies osseuses. Les perturbations du métabolisme phosphocalcique. Thérapeutique : maladies « iatrogènes » en rhumatologie. Moyens d'investigation.

Déjà parus

- 1964 : PREMIER CAHIER
  380 pages ; 100 illust. ; 80 F ; franco : 83 F.
- 1965 : DEUXIEME CAHIER
  344 pages ; 20 illust. ; 78 F ; franco : 80 F.
- 1966 : TROISIEME CAHIER
  316 pages ; 23 illust. ; 80 F ; franco : 82 F.
- 1967 : QUATRIEME CAHIER
  322 pages ; 41 illust. ; 68 F ; franco : 73 F.
- 1968 : CINQUIEME CAHIER
  303 pages ; 14 illust. ; 70 F ; franco : 73 F.
- 1969 : SIXIEME CAHIER
  288 pages ; 90 F ; franco : 93 F.

EN VENTE DANS TOUTES LES LIBRAIRIES SPÉCIALISÉES
ET A LA LIBRAIRIE DES FACULTÉS DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE
174, BD SAINT-GERMAIN - PARIS-VIe
C.C.P. EXPANSION, LIBRAIRIE DES FACULTÉS, PARIS 5601-33

Il est normal qu'on se soit occupé beaucoup plus de l'eau d'alimentation que de l'eau minérale, et peut-être peut-on dire : c'est le moment de s'occuper des eaux minérales. Elles ne sont pas toutes particulières. Il y a des intermédiaires entre l'eau de la Bièvre et l'eau d'Évian, et Dieu sait que moi, Savoyard, je crois à l'eau d'Évian ! Là c'est absolument hors de doute.

Mais avec Aubignat — nous avons la même formation ou la même déformation — nous connaissons des eaux qui s'apparentent à des phénomènes assez différents des phénomènes classiques.

Alors je voudrais simplement dire que je n'ai pas entendu parler de soufre, et pour ma part j'avais oublié de parler de cet élément. Le soufre joue un rôle. M. Goguel nous a bien parlé de réduction des sulfates. Peut-être est-ce suffisant pour expliquer le H_2S de certaines de nos eaux.

Mais là aussi il y a des phénomènes qui sont sûrement liés à ce que l'on appelle les eaux minérales, et je crois que ces phénomènes-là, nous ne les avons pas tellement étudiés. Comme je le répète une très grande partie de la science est d'origine disons américaine, anglo-saxonne, et que ce sont des pays dans lesquels vraiment l'intérêt des eaux minérales est nul, j'en parle très tranquillement, peut-être est-ce un domaine dans lequel nous aurions un peu d'originalité et pour pas cher !

Je m'excuse d'avoir plaidé les vertus des eaux minérales.

M. NINARD. — D'abord, je tiens à remercier de leurs brillants exposés les membres du BRGM que je connais pour la plupart depuis longtemps, en particulier M. Monition, puisqu'il y a bien vingt cinq ans que nous arpentions ensemble les djebels au Maroc.

Je voudrais dire, à propos de leur travail, certaines choses que je perçois plus facilement que d'autres étant donné les fonctions que j'occupe.

Je fais, en effet, la liaison entre les scientifiques purs et les praticiens thermaux et je pense au désarroi dans lequel doivent être ces pauvres médecins thermaux à la suite de ces savantes communications, qui ont eu, au moins un mérite, celui de démystifier l'eau minérale, sans lui enlever, bien entendu, sa valeur.

En effet, l'eau minérale, c'est une eau comme une autre, mais, de par sa composition elle a des particularités que nous ne savons pas toujours très bien mettre en évidence par l'analyse, mais qui se manifestent par leur action ; et c'est d'ailleurs la seule façon que nous ayons de démontrer qu'une eau est « minérale ».

L'Académie de Médecine, dans sa sagesse, a, en effet, retenu comme seul critère d'individualisation de l'eau minérale son action, pas même pharmacodynamique, mais favorable au maintien ou au rétablissement de la santé et c'est la-dessus que l'on juge en définitive une eau comme étant « minérale ».

Évidemment, si l'on connaissait tout de sa composition, il n'y aurait plus de secret : il n'y a pas d'effet sans cause. Mais nous sommes bien loin de cette connaissance complète.

Dans l'eau et particulièrement dans l'eau « minérale », il y a quatre constituants qui entrent en jeu :

— l'eau,
— les minéraux,
— les gaz,
— les matières organiques,

Deux de ces éléments sont à peu près bien connus aujourd'hui : ce sont les minéraux et les gaz. Deux sont encore très mal connus. D'abord et avant tout, et cela peut sembler paradoxal, l'eau elle-même.

Vous en avez eu quelques exemples avec l'étude de sa composition isotopique, du point de vue de l'hydrogène en particulier, à propos du tritium, et la situation des différents isotopes de l'oxygène. Il en est de même, d'ailleurs, avec sa minéralisation, pour les isotopes du soufre, pour les isotopes du carbone.

On croit toujours que l'eau est quelque chose de simple, parce que c'est la première notion générale que nous ayons en chimie, mais cela ne couvre pas la complexité de sa composition isotopique si l'on envisage simplement l'eau du point de vue de son composant hydrogène, et si l'on admet qu'il n'y a qu'un seul oxygène, cela ferait déjà six compositions différentes, avec les trois isotopes de l'hydrogène, sans compter les diverses proportions possibles dans leur mélange.

Il y a ensuite les matières organiques dont on n'a pas parlé jusqu'à présent dans l'eau minérale et j'ai beaucoup insisté auprès de M. le Président de la Société d'Hydrologie pour que M. Van Beneden soit sollicité d'exposer ses travaux sur ce sujet.

Donc l'eau minérale est beaucoup plus complexe qu'on ne pouvait encore se l'imaginer quand on pensait que son action était simplement due aux minéraux dissous.

Deuxième point maintenant : j'ai vu avec plaisir l'accession de l'ordinateur à l'étude des eaux minérales. Pour ma part, j'avais déjà vu l'intérêt de tenter une synthèse à partir des données fournies par l'analyse ; et nous avons décidé, avec le B.R.G.M. de collaborer, de mettre en commun les idées et les moyens que nous avions.

Maintenant, je voudrais faire une petite critique au sujet de l'utilisation qui a été faite de la nomenclature générale publiée par le Service des Mines. Il ne faudrait pas se baser sur les chiffres donnés dans cette nomenclature en ce qui concerne la composition des eaux minérales et croire qu'ils sont absolument exacts. En l'établissant, j'avais voulu faire simplement le bilan, non pas de nos connaissances, mais simplement de notre ignorance.

Les formules qui ont été données correspondent

dans certains cas à des formules exactes ; dans beaucoup d'autres cas, je le sais, elles sont fausses. Elles sont fausses parce que, depuis très longtemps, on ne s'est pas penché sur cette question de l'analyse des eaux minérales, ou si on l'a fait, c'était avec des moyens tout à fait insuffisants. Et je pense qu'il faudrait revoir la composition de ces eaux avec les notions et les moyens modernes que l'on a : nous sommes en train de nous en occuper. Malheureusement, M. Armand connaît mon équipe, elle n'a pas changé ; il y a M. Besançon et moi-même comme personnel scientifique et nous avons 4 préparateurs pour superviser toutes les eaux minérales françaises.

Le matériel est suffisant, mais il faut des hommes pour s'en servir et lui faire rendre ce qu'il pourrait rendre. Or, nous manquons d'hommes et personne ne s'intéresse à cette question.

Voilà tout ce que j'avais à dire à ce sujet. Le mérite du B.R.G.M. a été de contribuer à démystifier l'eau minérale ; seulement il ne faudrait pas aller trop loin dans cette voie, c'est bien à ses seuls composants qu'est due l'action de l'eau minérale, mais cette composition, nous ne la connaissons encore que très incomplètement. Il faut donc l'étudier sérieusement et pour cela il est indispensable qu'il se découvre des vocations.

LE PRÉSIDENT. — Ces divergences de vue posent peut-être une question de méthode. Si l'on posait a priori que toutes les eaux thermales sont d'origine juvénile, il n'y aurait plus de problème ; il n'y aurait plus de raison d'étudier leur circulation ; alors que si nous restons ouverts à la question de savoir ce qui peut s'expliquer par une circulation phréatique, et ce qui ne peut pas s'expliquer, nous butterons sur un résidu qui mettra en évidence, la nécessité de chercher autre chose, peut-être une origine juvénile.

Peut-être y a-t-il une déformation d'esprit des hydrauliciens qui partent de l'hypothèse d'une origine phréatique et qui, appliquant la méthode de travail, trouvent des explications et vont le plus loin possible dans l'hypothèse de l'interprétation par les eaux phréatiques ; les isotopes de l'oxygène qui eux se conservent dans les mélanges, sera certainement un des moyens qui permettront de cerner les origines magmatiques, les origines juvéniles, avec bien entendu le gaz carbonique. Mais la question de la géochimie du gaz carbonique profond est une question qui est à reprendre à la suite de la découverte de grands gisements de gaz carbonique qui sont sur le point d'être exploités indépendamment du thermalisme.

Voilà tout un domaine qui va très loin.

Je crois que l'heure est largement arrivée de passer à la seconde partie de l'exposé.

Je donne la parole à M. Aubignat pour introduire la question des captages.

LE CAPTAGE DES SOURCES MINÉRALES

par A. AUBIGNAT

Vouloir traiter le problème du captage des sources minérales dans un temps aussi court que celui qui m'est imparti, constituerait une gageure. En effet, pour le faire avec le maximum de clarté et de chances d'une bonne intelligence par l'auditoire, il serait nécessaire, en remontant bien au-delà des émergences à capter, de revenir, d'abord, sur les questions de l'origine des eaux minérales et de leur mode de formation, de parler ensuite de leur long et très compliqué cheminement dans le sol, depuis les laboratoires souterrains jusqu'à leurs émergences, de distinguer, enfin, les divers types de ces émergences qui, précisément, conditionneront les modes de captage dont on devra les pourvoir pour permettre la meilleure utilisation de l'eau minérale qu'elles débitent.

Les savants exposés qui ont précédé le mien, ont heureusement déjà très sérieusement débroussaillé le terrain concernant ces questions, de sorte qu'il me sera permis d'aborder assez directement le sujet des captages sans trop craindre que mon exposé vous apparaisse aride ou rebutant en raison d'insuffisantes explications préliminaires.

Peut-être, aussi, vous êtes-vous posé la question

de savoir ce que venaient faire les Ingénieurs du Service des Mines dans ces questions de sources minérales, de leurs captages et de leurs utilisations. Et bien sachez, tout d'abord, que de très anciennes chartes, dont les plus récentes, constituées parr l'Ordonnance de 1823, la loi de 1856 et les décrets de 1930 et 1956, ont chargé de tout temps les Ingénieurs du Service des Mines de veiller à la « conservation » des sources minérales, dans le sens le plus large du terme, et de promouvoir telles mesures nécessaires pour y parvenir en même temps que d'en assurer la police de l'exploitation.

Et cela, dans le fond, se conçoit assez bien puisque, à l'égal des autres matières minérales renfermées dans le sol et donnant lieu à une exploitation par mines et carrières, l'eau minérale est aussi une richesse « minérale » du sous-sol.

⁂

Quelles que soient les hypothèses retenues sur la génèse des eaux minérales (1), elles s'accordent cependant à reconnaître que les laboratoires souterrains où elles se forment se situent à grande profondeur, celle-ci étant attestée par la thermalité des eaux due au gradient géothermique. Mais, pour que le processus puisse se continuer il faudra, qu'après leur élaboration, les eaux minérales, à qui leur force expansive propre, alliée à celle des gaz dont elles sont généralement chargées, donne un pouvoir de migration vers la surface du sol, trouvent une possibilité de cheminement à travers les terrains qui les surmontent. Ce cheminement ne pourra se faire que par des cassures de terrains que les géologues appellent des « failles » ; elles sont constituées par des plans de cassure et de frictions de compartiments et des voussoirs résultant de la fracturation de l'écorce terrestre, qui se sont différentiellement effondrés. Ce n'est qu'à cette condition que l'on aura, finalement, une émergence *naturelle* en surface. A défaut, l'eau minérale restera perpétuellement emprisonnée dans les couches du sous-sol où, éventuellement, un forage depuis la surface, pourra venir la délivrer : On aura alors créé une *émergence artificielle.*

⁂

Que l'émergence soit naturelle ou artificielle, on disposera finalement d'une source minérale dont le but final est d'en assurer l'exploitation et d'en tirer le meilleur profit.

(1) La vision d'une belle source thermale s'épanchant en surface dans un bouillonnement tumultueux de gaz me fait irrésistiblement penser à une éruption volcanique en miniature. Pourquoi ne constituerait-elle pas, alors, la dernière phase d'une activité volcanique en voie d'extinction et réduite à des exhalaisons gazeuses avec sa vapeur d'eau condensée ?

Par définition — on vous le rappellera au cours de ces Journées — une eau minérale est douée de propriétés thérapeutiques, mais les Organismes administratifs chargés de vérifier, à la lumière de ce critère, qu'une source peut être classée comme « Source d'eau minérale naturelle » exigeront, de surcroît, que cette eau ait ses caractéristiques physico-chimiques rigoureusement constantes et qu'elle soit *bactériologiquement pure.*

Or, il existe une phase critique de la circulation de l'eau minérale dans le sol ; c'est celle, où s'approchant de la surface, elle traverse des terrains de moyenne ou de faible profondeur localisés près du point d'émergence. On conçoit assez facilement que, dans ces terrains, les eaux chaudes ascendantes puissent y rencontrer des eaux phréatiques risquant de venir se mélanger à elles et, ainsi, de les dégrader (en abaissant leur taux de minéralisation par dilution et en les refroidissant lorsqu'elles sont thermales) et même de les polluer.

En effet, les eaux phréatiques, qui sont plus ou moins immobilisées dans le sol à l'état de nappes ou qui les pénètrent « per descensum », à l'encontre des eaux minérales qui y circulent « per ascensum », ne sont pas toujours pures, surtout près de la surface et lorsque les terrains à l'aplomb portent des habitations ou sont cultivés avec enfouissement d'engrais organiques. De plus, ces eaux froides sont généralement assez bien oxygénées, en raison de l'air qu'elles contiennent en dissolution, et cet apport d'oxygène risque de détruire certains équilibres ioniques très précaires de l'eau minérale qui paraissent précisément être à la base de leurs vertus thérapeutiques.

En dehors de ces risques — qui sont toutefois les plus à redouter — existe également celui de la perte, partielle ou totale, de l'eau minérale vierge dans les terrains qu'elle traverse si ceux-ci sont poreux ou surtout, affectés de fissures, de diaclases ou de karsts.

Enfin, lorsqu'une émergence naturelle s'est établie son écoulement résulte d'un certain équilibre entre la force expansive et les pertes de charge qu'elle a à vaincre avant de venir s'épancher en surface à un niveau déterminé. Or, cet équilibre est souvent très précaire et il suffira alors que s'introduise dans le système, accidentellement ou non, une petite composante supplémentaire (sous l'effet, par exemple, d'une élévation du niveau de l'émergence ou d'une autofermeture progressive des lèvres de la fissure de sortie de l'eau minérale), pour que l'équilibre soit rompu. Les conséquences se solderont alors par une diminution du débit de la source ou même par sa disparition totale.

⁂

Ces quelques considérations font maintenant facilement entrevoir la nécessité de munir les sources minérales d'un *bon captage* qui devra avoir pour but

de les mettre à l'abri des risques de désordres que je viens d'évoquer.

Ce même rappel des processus susceptibles de porter atteinte à la conservation des sources, permet également d'imaginer comment le captage devra être réalisé pour atteindre son but.

Ainsi défini, le captage d'une source minérale devra viser :

a) à bien dégager et aussi loin que possible, en remontant l'émergence, les griffons de la source, de façon à permettre à l'eau minérale d'emprunter un cheminement préférentiel, dans la direction désirée, aussi ouvert et aussi peu résistant au possible ; ces opérations auront pour effet de collecter le maximum de débit de l'eau et de ses gaz d'accompagnement ;

b) à isoler ensuite, aussi parfaitement que possible, la cheminée d'ascension de l'eau minérale traitée comme il est dit précédemment des terrains qu'elle traverse, depuis la surface jusqu'au moins la rencontre, en profondeur, d'un horizon géologique sain, et pratiquement imperméable. Cet isolement aura alors pour effet d'éviter :

d'une part, que l'eau minérale se diffuse ou se perde dans les terrains recoupés, surtout si l'on désire élever le niveau d'émergence de la source c'est-à-dire la charge piézométrique sur ses griffons ;

d'autre part, qu'elle reçoive, dans la traversée des mêmes terrains, des apports d'eau d'origine superficielle qui risqueraient de la dénaturer, de la dégrader et d'en altérer la pureté bactériologique.

⁂

Ceci exposé, comment devra être réalisé le dispositif de captage ?

Il s'agit là d'une question qui nécessiterait, pour qu'il y soit répondu de manière satisfaisante, de longs développements qu'il m'est impossible d'entreprendre ici en raison du temps qui m'est mesuré. D'ailleurs il faut bien dire que l'étude et la réalisation des captages relèvent de techniques qui empruntent souvent plus à l'art des mines qu'à la science de l'hydrologie, de sorte que l'exposé correspondant risquerait de présenter bien peu d'intérêt aux yeux de l'aréopage de médecins devant lequel j'ai l'honneur de parler.

Je n'en dirai donc que quelques mots, d'autant que les conférenciers qui vont me suivre, MM. Dague et Minoux ingénieurs géologues au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, vous montreront quelques exemples typiques de réalisations de captage effectués sous leur direction qui vous en diront beaucoup plus qu'un long discours.

⁂

Le captage le plus sûr et le plus facile à réaliser est, sans conteste, celui dont on munit les forages ayant découvert des sources minérales que j'ai appelées plus haut des *émergences artificielles*.

Dans ce cas, en effet, on peut, avec facilité, introduire le dispositif de captage très profondément dans le sol et le réaliser simplement par le moyen de tubages métalliques qui, cimentés sous pression contre les terrains qu'ils recoupent, isolent parfaitement ceux-ci — et les eaux étrangères qui peuvent y gîter — de l'eau minérale vierge captée plus profondément.

Souvent on descend dans le forage plusieurs tubages concentriques convenablement crépinés — à la fois pour faciliter le travail et améliorer la protection — dont on remplit de ciment liquide, injecté sous pression, les espaces annulaires ; l'eau minérale s'élève alors par le tube central pour s'écouler finalement en surface, soit naturellement, soit avec l'aide d'une petite pompe introduite dans le forage.

Cette technique de captage est actuellement parfaitement au point et ne donne pas d'échec. Pour la parfaire, on a de plus en plus recours à l'acier inox fortement allié pour la constitution des tubages, spécialement de celui dans lequel s'élève l'eau minérale et dit, de ce fait, « tube ascensionnel ».

Dans quelques instants, il vous sera projeté le schéma d'un captage de la région de Vichy, réalisé suivant ces principes.

Par contre, pour les *sources naturelles*, étant donné la diversité de leur hydrologie, des terrains où elles se situent, de leur position topographique, de leur mode d'émergence, de leurs caractéristiques physicochimiques, de l'utilisation qu'on veut en faire, il n'est pas de *captage-type* ; chaque source doit alors être munie d'un captage s'adaptant à ses particularités. Cependant, étant donné les facilités de réalisation des captages sur les sources forées et la qualité de ceux-ci, on pourra être amené, chaque fois que ce sera possible, à transformer une émergence « naturelle » en émergence « artificielle » forée (par sondage ou par puits) pour en permettre le meilleur captage. (La Bourboule, Châtel Guyon et, plus récemment encore, Vichy).

Quelques exemples de captage de cette nature vous seront projetés dans quelques instants et, sur chacun, je me propose de vous faire un bref commentaire ; je pense que cela devrait suffire à satisfaire votre curiosité sur le sujet d'autant qu'il vous sera loisible de poser ensuite quelques questions.

Qu'il me suffise donc, pour achever, de dire que les captages des émergences naturelles nécessitent des travaux toujours très délicats qui ne doivent être confiés qu'à des équipes adroites et conscientes de l'importance du travail à entreprendre. Ces travaux doivent être tenue très surveillés de façon à pouvoir les infléchir à tout moment, lorsque la nécessité en apparaît, dans une direction qui peut s'avérer tout

à fait différente de celle imaginée au départ. En principe, on se laisse guider par ce « fil d'Ariane » que constitue la venue hydrominérale. Pour ce faire, l'observation des phénomènes rencontrés doit être vigilante et continue ; elle aidera beaucoup, en effet, à guider les travaux dans la bonne voie car, si les mesures qui pourront être relevées (température de l'eau, résistivité électrique, caractéristique de sa minéralisation globale, teneur en gaz dissous, etc...) sont de nature à apporter de précieux renseignements pour l'interprétation des phénomènes, l'intuition reste l'atout majeur du responsable des travaux.

LE PRÉSIDENT. — Nous avons encore deux orateurs prévus, M. Minoux et M. Dague qui devaient nous exposer d'autres captages. Peut-être d'ailleurs certaines des dispositions qu'ils avaient l'intention de nous décrire ont-elles déjà été présentées, à propos d'autres exemples, par M. Aubignat.

Je donne la parole à M. Minoux.

LE BASSIN HYDROMINÉRAL DE CONTREXÉVILLE

Exemples de captages dans un gîte sédimentaire

par G. MINOUX

Monsieur le Président, Mesdames, Messieurs,

quelques minutes me sont imparties pour esquisser un sujet qui, dans le cadre de la coopération entre le B.R.G.M., la Société exploitante et la collectivité urbaine de Contrexéville, a nécessité une quinzaine d'années d'études et de recherches.

Je vous propose de faire un tour d'horizon dans ce bassin sédimentaire du Trias moyen des Vosges qui doit sa notoriété à l'un des plus anciens promoteurs des eaux minérales de cette province, Stanislas 1er, Duc de Lorraine, ainsi qu'à son médecin particulier, le Dr Bagard.

Les progrès de nos connaissances et de la mise en valeur de ce gîte ont été possibles ensuite grâce à la contribution d'ingénieurs des Mines, E de Billy, Jutier, Rolland, qui ont dressé les premières cartes géologiques de la région, étudié les premiers captages et décelé leurs interactions ; des géologues G. Corroy et L. Guillaume qui ont analysé la constitution du gîte, défini l'origine probable de ses eaux et localisé leurs principes minéralisateurs ; des hydrologues et ingénieurs, Ch. Cuau et Ch. Vandalle, auxquels on doit respectivement la modernisation de la source principale sous l'égide de R. Loubet, Président de l'ancienne Société des Eaux, la reconnaissance détaillée du groupe de captages existants et enfin la prospection de nouveaux secteurs exploitables.

LE BASSIN DE CONTREXÉVILLE DANS SON CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE.

Placé entre ceux de Vittel, au nord-est, et de Martigny-les-Bains, au sud-ouest, il occupe (fig. 1) toute la largeur d'un plateau calcaire, faiblement incliné vers le nord-ouest, et qui s'étend, en bordure nord des Monts Faucilles, entre deux côtes sensiblement parallèles, distantes de 7 à 9 km.

La « cuesta » infraliasique, couronnant un puissant massif marneux et gypseux, le domine, au NW de 80 à 100 mètres. Celle du « calcaire coquillier », rebord méridional du plateau, surplombe à son tour d'une soixantaine de mètres, par l'intermédiaire d'un second ensemble marneux et gypseux, une zone déprimée et gréseuse qui s'avère de grande importance pour l'économie régionale.

Faiblement ondulé et vallonné, ce plateau calcaire est limité au sud par une ligne principale de partage des eaux (Mer du Nord-Méditerranée) et par deux lignes de crêtes secondaires transversales à la première. Il représente une aire de réception des eaux météoriques de l'ordre de 3 800 hectares, drainée par de petits ruisseaux de faible importance et de débit variable, ainsi que par un exutoire naturel d'eaux non minéralisées, d'un débit considérable pour la région : la source principale du Vair, qui émerge au cœur même de la localité de Contrexéville.

Ce vaste impluvium se subdivise en deux parties marginales A et B dont le substratum est imperméable et dont les eaux s'écoulent assez directement au Vair en aval du centre thermal. Sa partie principale S.SE, elle-même imperméable sur toute sa périphérie, C comporte cependant une étroite bande axiale, dite « boutonnière » de Dombrot, qui apparaît, sur le plan lithologique, particulièrement favorable au processus d'infiltration.

Comme l'indique la carte de Rolland (1883), les eaux minérales de Contrexéville n'étaient connues à cette époque qu'en deux points où émergeaient, à l'origine, des sources naturelles dans des points bas

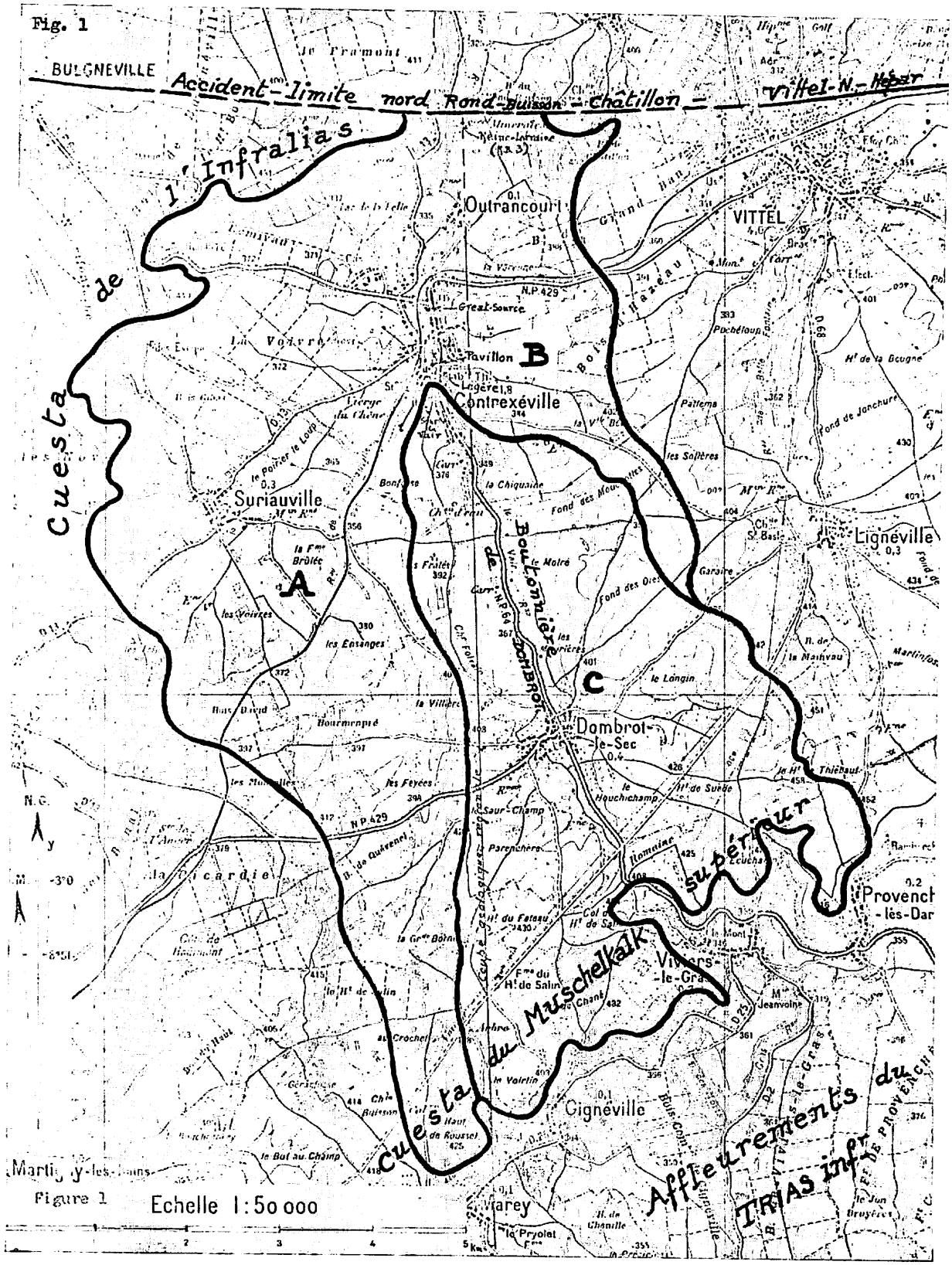


FIG. 1. — *Carte d'ensemble du bassin de Contrexéville et de ses aires alimentaires.*

plus ou moins marécageux proches du ruisseau : le groupe de Pavillon, sur lequel s'est centrée l'agglomération ; le captage ancien du Rond-Buisson, 2 km plus au nord.

Le schéma fig. 2 montre combien étaient alors rudimentaires les conceptions sur la structure et la constitution d'un gîte dont les vertus curatives étaient connues de longue date.

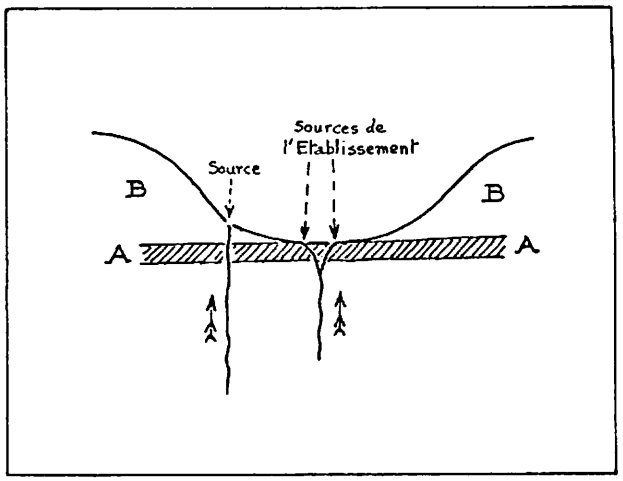


FIG. 2. — *Schéma du gîte hydrominéral de Contrexéville proposé en 1883*

A) *Couche d'argile verte.*
B) MUSCHELKALK.

En 1936, puis de 1947 à 1960, cette esquisse sommaire a pu être étoffée et précisée par de nombreux éléments recueillis aux affleurements et dans les forages, dans le cadre de la révision de la carte géologique détaillée (1964) *.

La *coupe-type de cette région* est donnée schématiquement par la figure 3. On y trouve, du haut en bas, 4 principales séquences dolomitiques ou calcaires, a-b-c-d, allant de la Lettenkohle au sommet du Muschelkalk moyen, séparées par des niveaux marno-calcaires ou schisteux, très peu ou non perméables, la dernière reposant sur un complexe gypseux, anhydritique et dolomitique. Sous une puissante masse de schistes, règne, à l'extrême base, un ensemble stratifié et siliceux : les grès du Trias inférieur, appuyés sur le socle cristallin ou primaire.

On a donc affaire à 3 ensembles superposés, distincts, bien repérables par leur nature lithologique ou par les débris fossiles qu'ils recèlent (fig. 4, 5, 6) ,susceptibles de présenter des propriétés aquifères.

Sur le plan structural, une série de coupes géologiques tenant compte de tous les points observables ont indiqué l'existence d'un faible pendage régional des couches, de l'ordre de 1 à 2°, dirigé du SE vers le NW, avec des variations locales d'amplitude limitée, reflétant des irrégularités du substratum profond. Ce plongement s'accroît notamment dans la partie septentrionale du bassin (fig. 7), déterminant une légère rupture de pente et une zone de fissuration privilégiée à l'aplomb desquelles se trouvent précisément les émergences naturelles du groupe du Pavillon.

Collectées dans la partie méridionale du plateau calcaire, arrêtées au mur de celui-ci par l'« écran » imperméable de la base du Muschelkalk moyen, les eaux cheminent vers le nord et le nord-ouest au sein du massif à entroques, dans les dolomies blanches sous-jacentes, éminement perméables dans la région des affleurements, puis, *exceptionnellement,* dans le complexe gypseux subordonné où les processus de dissolution favorisent progressivement leur pénétration.

Leur mise en charge est assurée vers la cote + 338, localement par des argiles alluvionnaires et, plus généralement, par les marno-calcaires de la partie moyenne du Muschelkalk supérieur. Plus au nord, les dolomies du sommet de cet étage et de la Lettenkohle constituent également, malgré leur moindre puissance, des réservoirs analogues sous les « Marnes irisées » imperméables mais fortement gypseuses.

Parallèlement, les eaux de la nappe du Trias inférieur — libre à l'origine — progressent en profondeur *dans la même direction que celles du Muschelkalk* et sont retenues captives au mur des schistes constituant la base de ce dernier étage.

Ce préambule très schématique avait pour objet de situer le gîte des eaux *froides,* sulfatées calciques vosgiennes, et plus spécialement celles de Contrexéville, dans leur contexte géologique, de préciser leur origine longuement controversée, d'éclairer les modalités de leur captage et de dégager certains principes utiles à leur conservation, laquelle a été grandement facilitée par l'appoint fourni aux réseaux d'eau potable collectifs et industriels par la nappe profonde dont les caractéristiques essentielles seront indiquées à la fin de cet exposé.

Il y a lieu de mettre ici en relief le rôle bénéfique, pour le bassin, de la source vauclusienne du Vair qui participe, par sa charge et par évacuation accélérée de maintes impuretés, à l'immunité des sources minérales autorisées situées à son aval.

CAPTAGES ANCIENS DE CONTREXÉVILLE A FAIBLE ET MOYENNE PROFONDEUR.

L'ensemble des ouvrages productifs de cette localité a été spécialement retenu pour cette séance consacrée au captage des eaux thermo-minérales parce qu'il offre, en gîte typiquement sédimentaire, une gamme variée de profondeurs et de structures selon la distance par rapport au bassin alimentaire.

(*) Pour plus de détails, consulter la coupure de Vittel au 1/50 000, 1re édition, 1964.

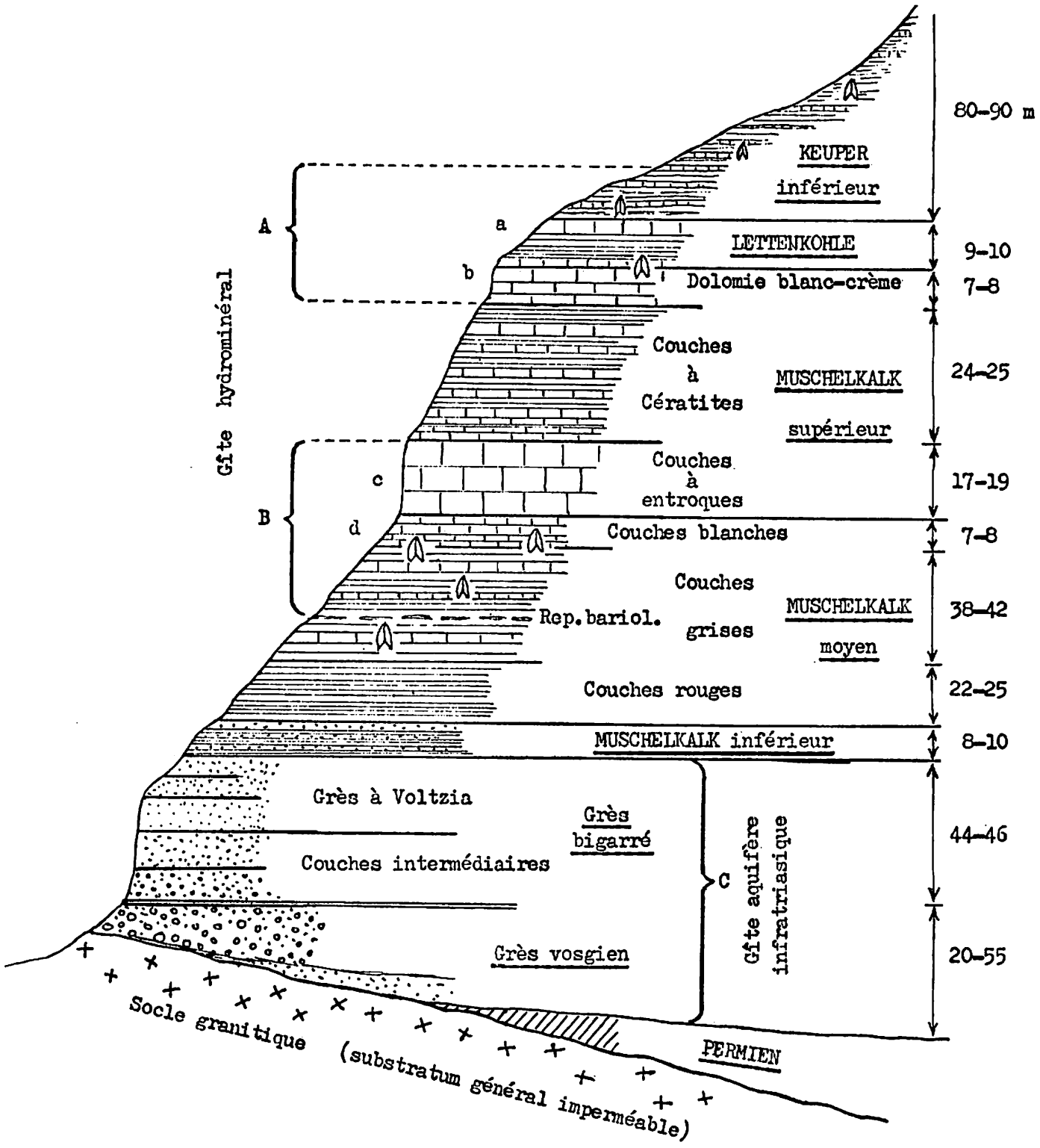
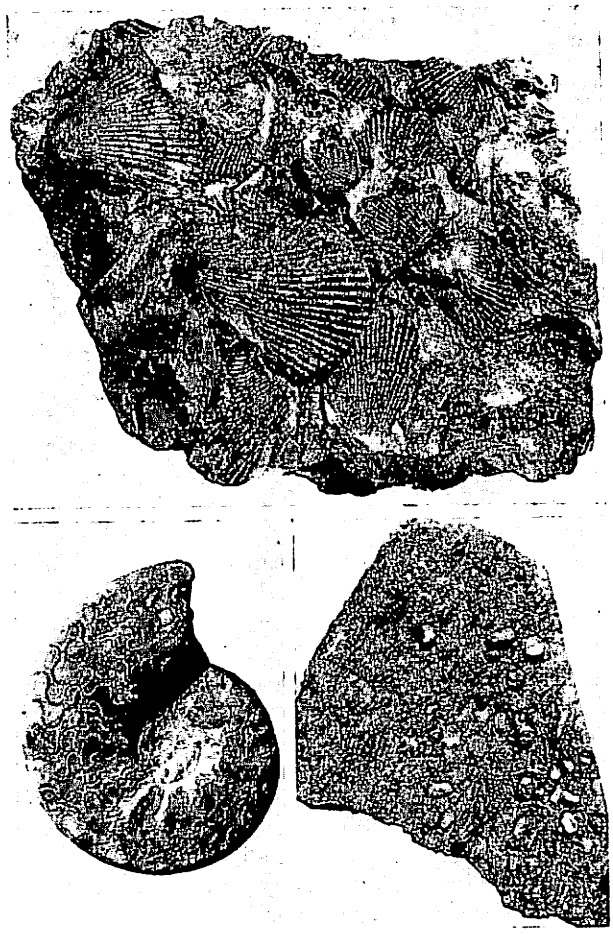


FIG. 3. — *Coupe géologique schématique de la région de Contrexéville*

LES TROIS REPÈRES GÉOLOGIQUES FONDAMENTAUX DU BASSIN DE CONTREXÉVILLE



4

5

6

FIG. 4. — *Le banc à* Lima, *au sommet des couches à Cératites du Muschelkalk supérieur. Plateau sud de Contrexéville.*

FIG. 5. — Ceratites cf. compressus
Tranchée de la gare de Contrexéville

FIG. 6. — *Articles d'*Encrinus liliiformis *ou « entroques » Dombrot-le-Sec*

Il va de soi que, dans tous les cas, l'isolement des eaux superficielles et des nappes intermédiaires moins minéralisées se trouve rigoureusement assuré : ce bassin fournit donc des exemples non moins classiques de captage sélectif.

L'étude approfondie de l'ensemble du groupe a nécessité au départ — dès le siècle dernier d'ailleurs —, puis au fur et à mesure de la reprise ou de la création

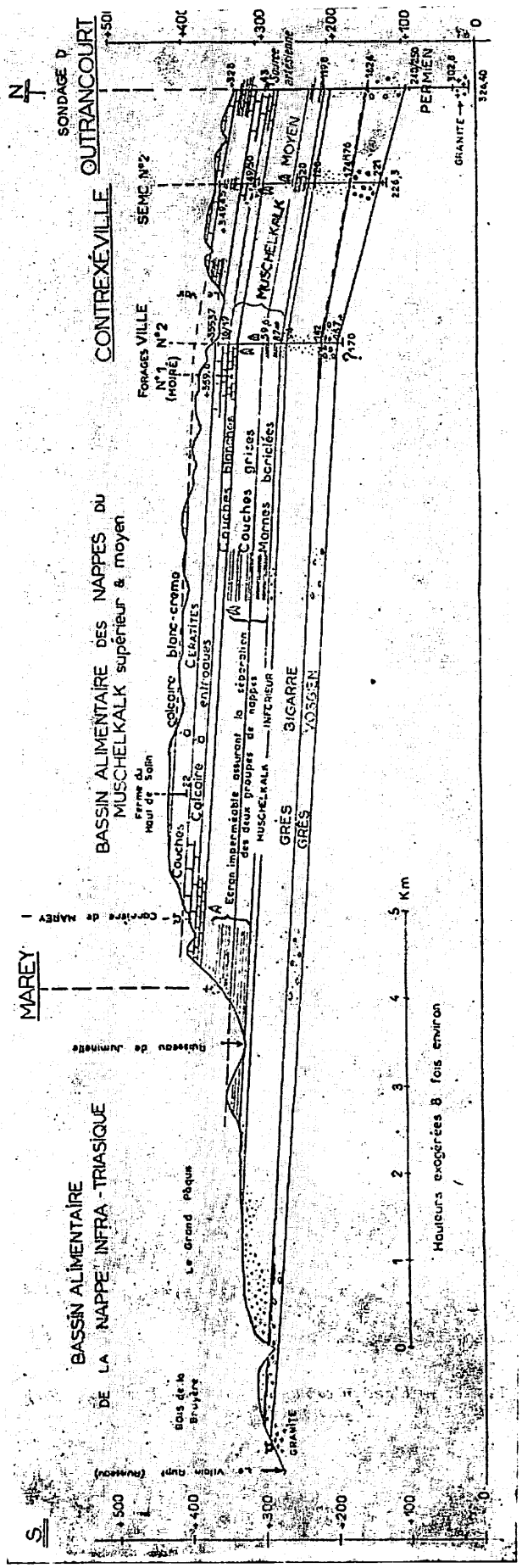


FIG. 7. — *Coupe géologique de la région de Contrexéville, d'après les affleurements et les sondages*

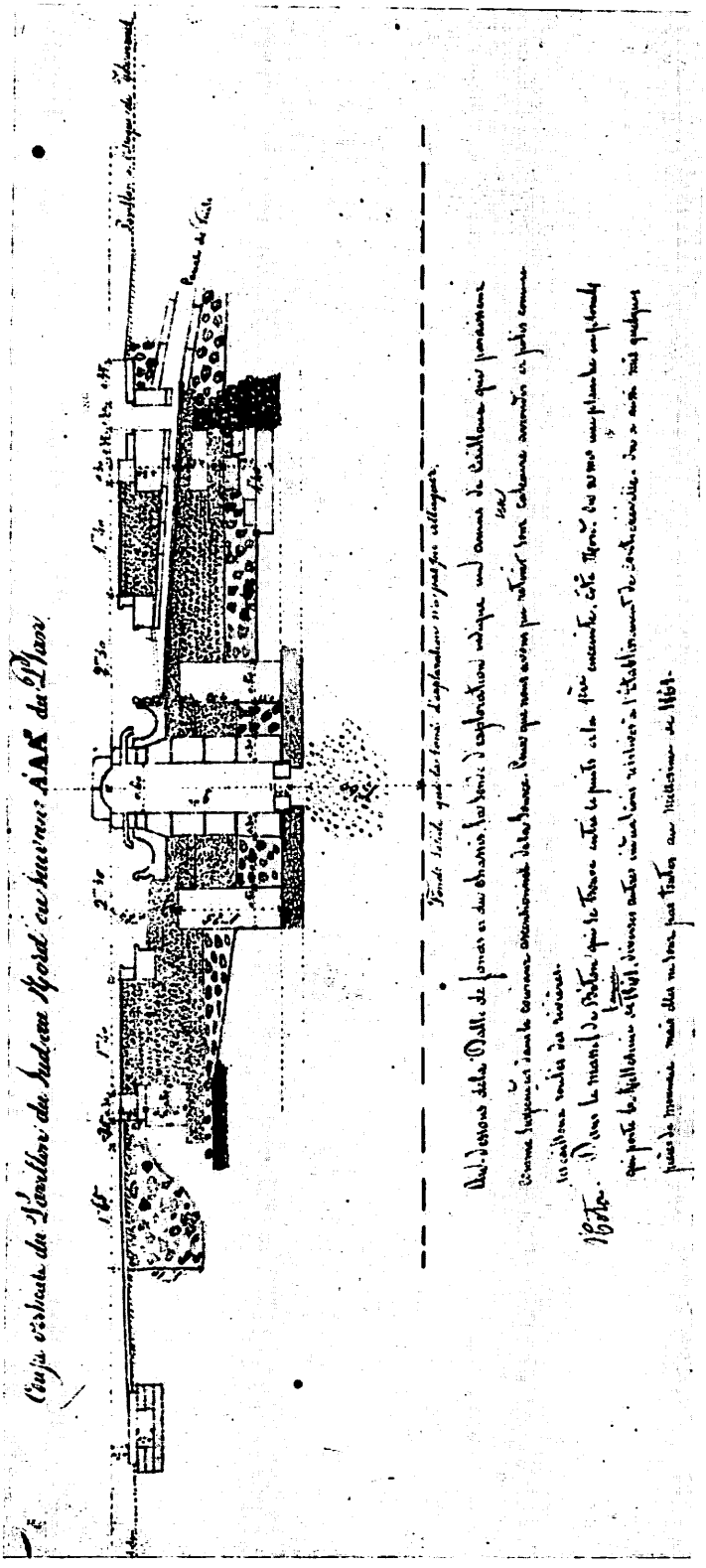


FIG. 8. — *L'ancien captage de la source Pavillon (1861)*
Archives Service des Mines

de nouveaux ouvrages, une détermination précise des cotes altimétriques des orifices (*).

La source Pavillon : A l'instar de ses deux « satellites » du Quai et des Bains, cette émergence avait été enchambrée de façon très incomplète, même après les réfections de Jutier de 1859 et 1861 (fig. 8) : un cadre en bois, appuyé sur une couche d' « argile verte », soutenait une simple dalle de fond, percée en son centre, et un puits maçonné pourvu de « jettoirs » à la cote + 335,35.

Le griffon était un simple « trou de sonde », foré *sans soutènement* dans l'argile jusqu'à la rencontre d'un banc rocheux dur, de nature indéterminée. Maintenus en suspension dans le courant d'eau minérale, des cailloutis trahissaient la stabilité précaire d'un tel découvert.

L'ensemble du captage était, par contre, protégé par un puissant revêtement de béton et d'argile.

Sources secondaires, jadis concurrentes : Entre 1857 et 1908, des initiatives privées ont abouti à la création de toute une série d' « émergences artificielles » de plus en plus profondes, à proximité ou en aval-pendage des sources d'intérêt public.

Après les puits Baud, les plus anciens, creusés cette fois jusqu'à la roche en place et construits sur elle, la source Le Cler, ultérieurement approfondie par sondage, donne un premier exemple caractéristique de cette campagne de recherches parallèles.

La venue d'eau rencontrée au fond d'un avant-puits maçonné a été isolée et coiffée par une colonne en grès de 320 mm ⌀ alimentant une buvette et une citerne de stockage. Rien n'indiquait que l'espace annulaire situé entre les parois du puits et cette colonne avait été convenablement étanchéisé.

Le second exemple est illustré par un captage datant de 1905, (c'est-à-dire du début de la période de prolifération des sources artificielles, aussi bien à Contrexéville que dans les bassins voisins), exécuté à 600 m nord du Pavillon selon un plan classique à cette époque dont il est intéressant de rappeler le principe (fig. 9).

Sous la protection d'un avant-puits tubé sur quelques mètres au niveau des formations superficielles, le terrain en place était foré au trépan, en un seul diamètre, jusqu'à une cote assez arbitrairement basée sur la constance du débit artésien obtenu et sur l'accroissement de la dureté des roches traversées.

Un tubage composite, formé d'une succession d'éléments de grès de Rambervillers, scellés coaxialement dans une colonne métallique de protection, rivée et munie à sa base d'un bourrelet ou « perruque » de chanvre, était ensuite descendu dans le forage et cimenté au toit des premières venues aquifères

(*) A défaut du repère de référence en bronze posé le 29 avril 1865, à la demande de l'Administration des Mines, et disparu lors de la construction de l'établissement thermal, toutes les sources ont été rattachées au N.G.F. depuis 1954 par des nivellements spéciaux.

par simple déversement de ciment et de béton dans l'espace annulaire demeuré libre entre ce dispositif et le terrain. Les procédés de cimentation sous pression ou par tiges n'étaient pas alors usités.

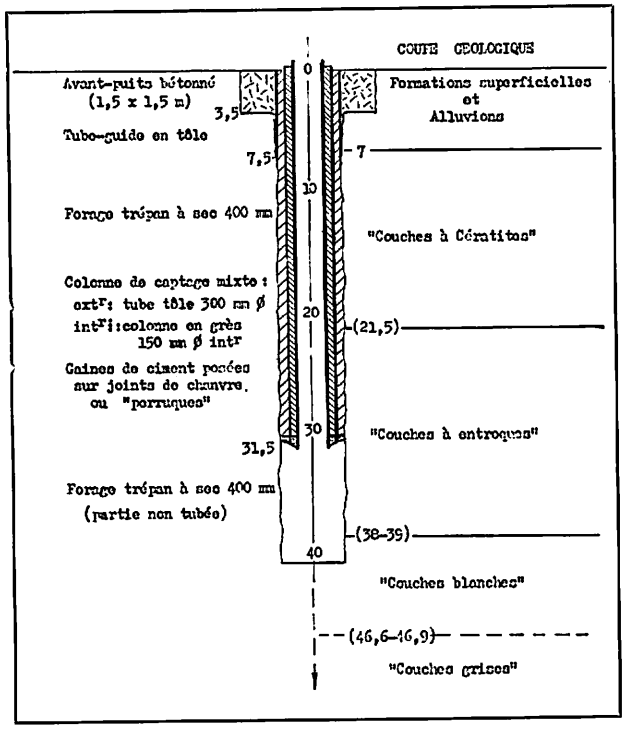


FIG. 9. — *Exemple de captage ancien à moyenne profondeur dans le gîte de Contrexéville (Vosges)*

Dans certains cas, l'étanchéité d'un tel dispositif pouvait laisser à désirer, en raison de lacunes de remplissage incontrôlables. Une telle anomalie a pu être observée par exemple dans une autre source du même type à l'occasion de ses essais de débit : à l'arrêt des pompages, des dégagements gazeux et des paliers des courbes de remontée trahissaient l'existence de cavités plus ou moins importantes à l'extérieur de la colonne en grès dont les joints étaient, par ailleurs, désagrégés (fig. 10).

Destinés à produire l'eau minérale exclusivement par écoulement naturel, nombre de ces anciens ouvrages avaient un diamètre intérieur trop faible pour que leur courbe de débit puisse être étudiée très profondément par pompage.

Outre ces points d'exploitation des eaux de cure, de nombreux puits avaient été ouverts de longue date sur toute l'étendue de l'agglomération pour satisfaire les besoins particuliers en eau de consommation courante. Atteignant pour la plupart le massif calcaire subsuperficiel, susceptibles de manifester, selon leur implantation, des propriétés absorbantes,

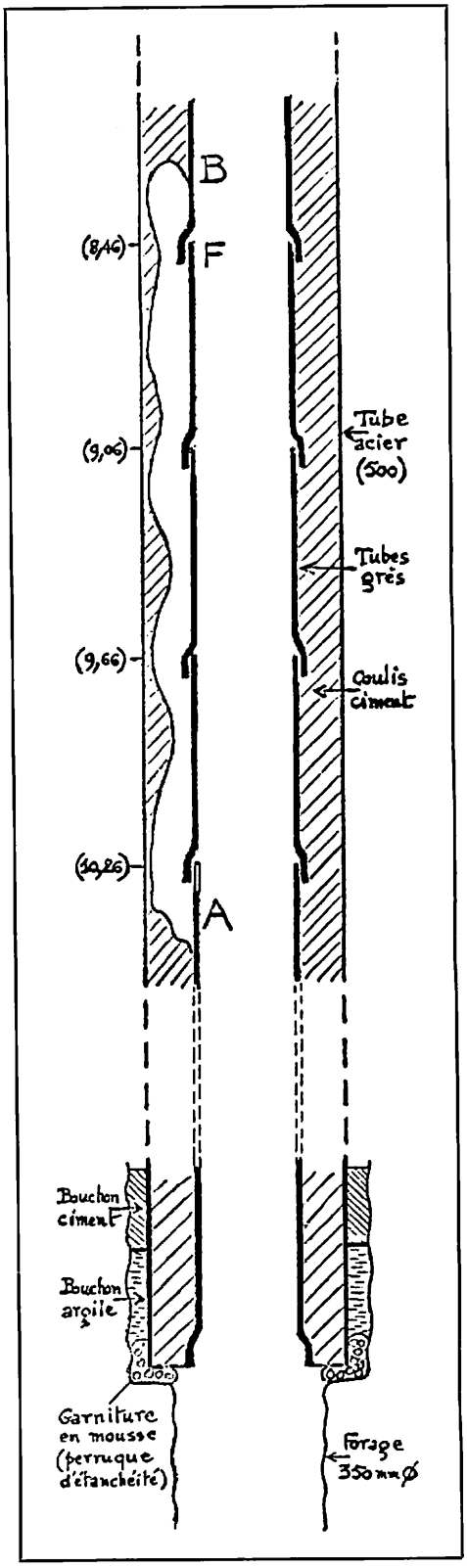


FIG. 10. — *Exemple de lacune dans la cimentation de la colonne de captage d'une ancienne source minérale « artificielle ». (Source Châtillon-Lorraine, maintenant recomblée).*

ces ouvrages — très mal connus — et en communication parfois notoire avec le gîte hydrominéral représentaient un danger latent pour celui-ci.

ÉVOLUTION MODERNE DES CAPTAGES DE CONTREXÉVILLE.

Source Pavillon : Elle a été approfondie en 1947 et définitivement captée *sur la roche en place,* après la traversée complète, en très grande section et moyennant un soutènement jointif approprié (cliché n° 11), d'un recouvrement effectivement argileux mais dont la nature *alluvionnaire* était attestée par l'abondance de débris d'origine végétale ou animale qui s'y trouvaient incorporés (clichés n° 12 et 13).

FIG. 11. — *Travaux d'approfondissement du captage Pavillon 1947 (boisage jointif des argiles vertes et, en fond de fouille, dalles et blocs de la formation du Calcaire à entroques du Muschelkalk supérieur).*

En fond de fouille a été rencontrée une formation rocheuse, bien datée cette fois stratigraphiquement (Calcaire à entroques du Muschelkalk supérieur) et sillonnée de fissures aquifères subverticales et obliques.

Ces venues ont été coiffées par un réseau de drains

FIG. 12, 13 et 13 bis. — *Débris animaux du quaternaire récent trouvés lors de la traversée des argiles vertes à Pavillon (1947).*

disposés en étoile et noyés dans des graviers et galets siliceux (cliché n° 14). Leur remontée au jour a été assurée par une colonne ascensionnelle monobloc en fibro-ciment garnie à l'extrados d'un filtre à gravier et à sable fin.

Maintenues en charge permanente par ce joint hydraulique, les eaux directement recueillies aux vrais griffons naturels étaient désormais à l'abri de tout transit dans des argiles et limons hétérogènes et récents (fig. 15).

Hormis le repérage géologique du gîte d'émergence réel de la source, on était dès lors à même d'étudier expérimentalement le comportement de la nappe minérale au double point de vue hydrodynamique et physico-chimique. Sa caractéristique en ce point essentiel a été définie par des pompages de durée

FIG. 14. — *Pose des drains en étoile du nouveau captage Pavillon 1947 (au centre, le puisard d'épuisement entouré de gros galets siliceux et cristallins).*

convenable. La constance de la composition ionique de l'eau à tous les régimes a été vérifiée et les réactions des sources avoisinantes corrélativement mesurées, ce qui complétait les premières expériences de Jutier, François et Bouis de décembre 1862 (*).

Il restait toutefois à définir les voies de cheminement et l'horizon préférentiels de la nappe minérale.

Great Source : Ces données fondamentales ont été acquises de façon décisive grâce à un carottage de contrôle géologique effectué au fond du forage 1905.

Ce travail a mis à jour, en petit diamètre, des repères précis de la série stratigraphique : Couches blanches dolomitiques et poreuses, avec gypse et anhydrite — Couches grises, schisteuses et accessoirement dolomitiques, coupées de nombreuses intercalations gypseuses (fig. 16 et 17).

L'ouverture substantielle de la courbe de débit et les réactions nettes et rapides du Pavillon sous l'influence de modifications du régime d'écoulement en ce point ont fourni la preuve que des horizons privilégiés du gîte minéral avaient été atteints.

Source Légère : Une prospection télévisée ayant révélé que l'ancienne source Le Cler, autorisée sous cette nouvelle dénomination, était affectée de multiples dégradations au niveau de sa colonne ascensionnelles, son captage a été entièrement rénové : la mise en œuvre d'un tubage étanche et inoxydable, doté d'une importante gaine de ciment spécial injectée « per ascensum », garantit une protection rigoureuse des venues ascendantes profondes et de meilleures conditions d'exploitation de la nouvelle émergence.

Les nombreuses investigations faites dans le but de déterminer point par point les caractéristiques des principaux captages d'eau minérale du bassin ont abouti à localiser le niveau piézométrique de leur réserve alimentaire au voisinage de la cote + 338 NGF.

Cette valeur, significative sur le plan local, a pu être vérifiée à l'occasion d'autres reconnaissances, notamment au cours de la traversée obligatoire du gîte par les forages profonds de recherche d'eau potable.

Des observations limnigraphiques précises ont montré par ailleurs que les caractéristiques hydrodynamiques ne peuvent être considérées, comme on le croyait jadis, comme absolument stables dans le temps : leur lieu géométrique se situe entre une courbe d'étiage et une courbe de crue qui diffèrent légèrement selon les circonstances saisonnières.

Face à une exploitation moderne ne souffrant aucune défaillance, la bonne tenue du gîte hydrominéral — relativement proche de la surface dans sa partie amont — implique une parfaite salubrité de son recouvrement protecteur.

Cette considération a conduit à procéder au recomblement et à l'obturation définitive d'un grand nombre de puits et de forages devenus inutiles après l'amélioration, parallèlement conduite, du réseau collectif de distribution d'eau.

Ces deux domaines d'activité : eaux potables, eaux minérales, étaient apparus d'ailleurs, de longue date, intimement liés et pratiquement indissociables.

RECONNAISSANCE ET MISE EN VALEUR DE LA PARTIE NORD DU BASSIN DE CONTREXÉVILLE.

Des sources minérales, très anciennement connues et signalées dans des publications de 1878 à 1887, notamment dans le mémoire fondamental de Braconnier 1879 sur les sources sulfatées calciques du Trias lorrain, figuraient sur les relevés de Rolland et sur les plans directeurs de 1906, dans la vallée du Vair, 2 km en aval de la localité, à l'ouest du bois du Rond-Buisson.

Emergeant dans un secteur difficilement accessible et occasionnellement inondable, d'un faible débit apparent, ces sources ne pouvaient être, a priori, rattachées à aucun autre ensemble aquifère que celui du Keuper inférieur gypsifère.

Quatre sondages de reconnaissance ont été implantés à leur voisinage immédiat, selon un axe sensiblement nord-sud, dans la plaine alluviale (schéma fig. 18).

(*) Selon les mémoires du temps, ne pouvaient être réalisés que des essais de durée et de puissance très limitées, à l'aide de pompes de surface mues à bras d'homme...

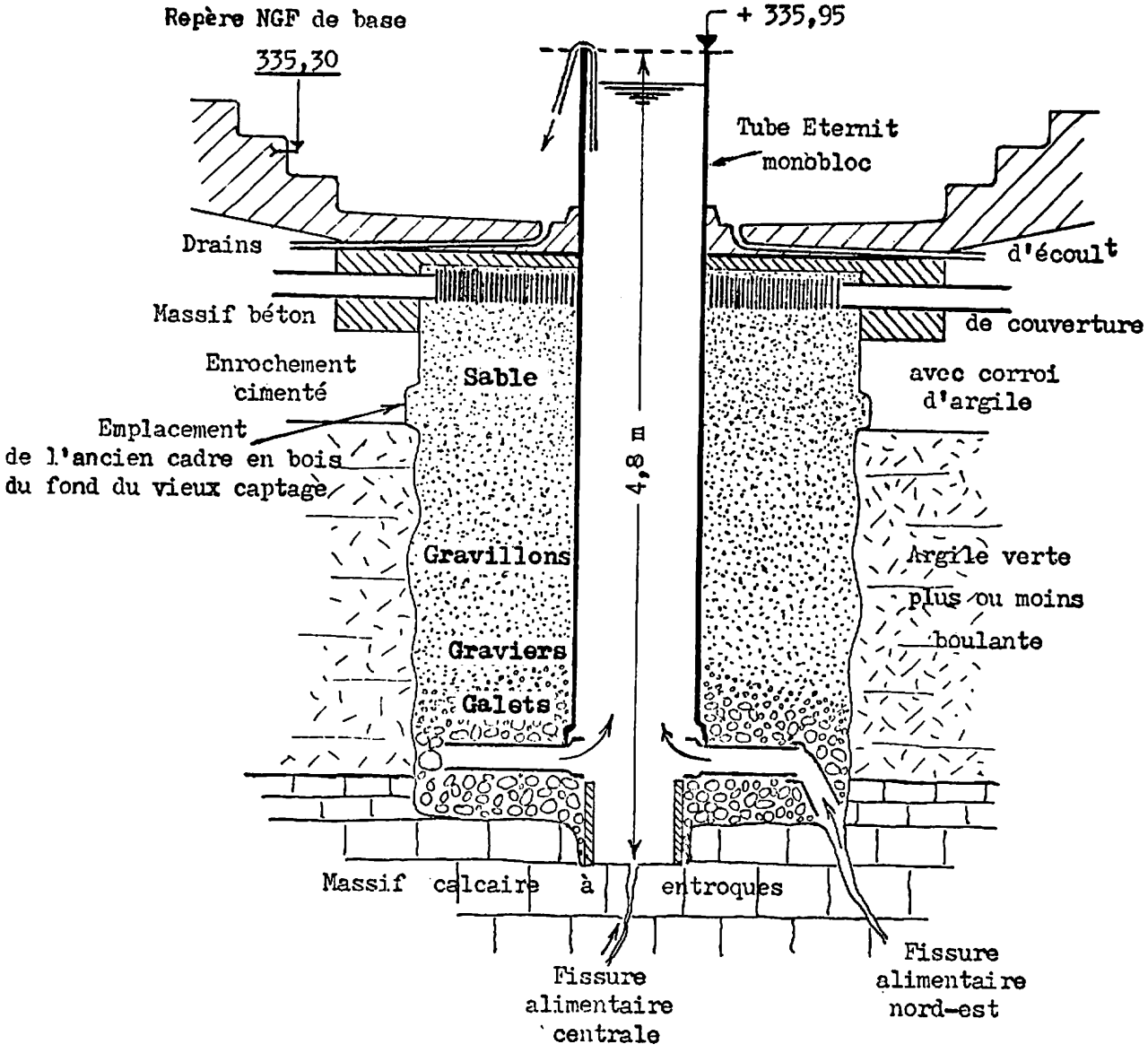


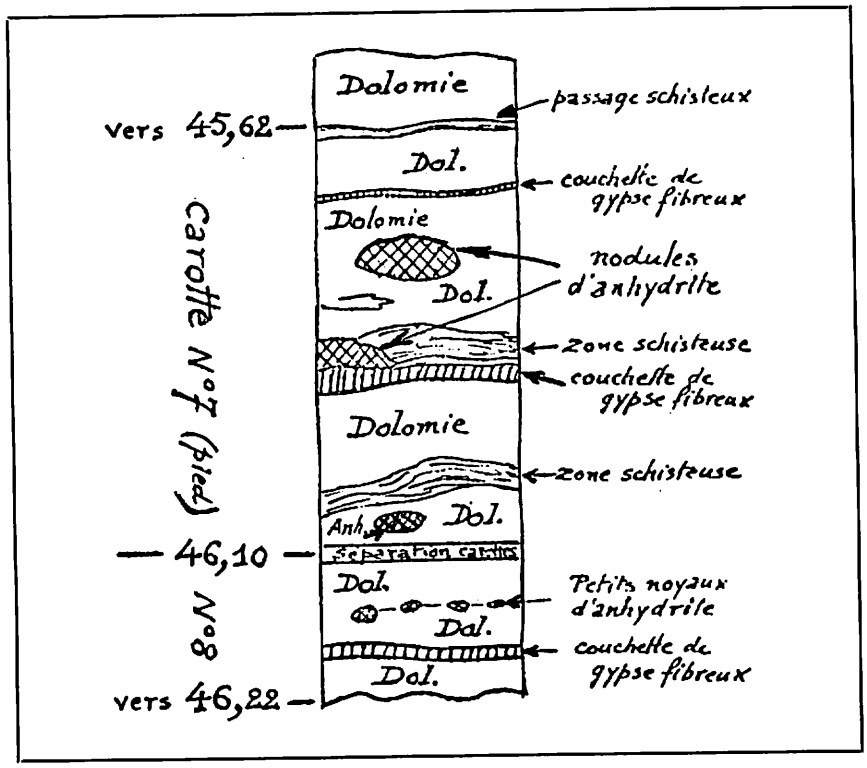
FIG. 15. — *Schéma de principe du nouveau captage Pavillon, à Contrexéville (Ech. 1/40).*

Le plus septentrional a effectivement traversé les « Marnes irisées inférieures », stériles, sans avoir atteint leur mur à 45 m de profondeur.

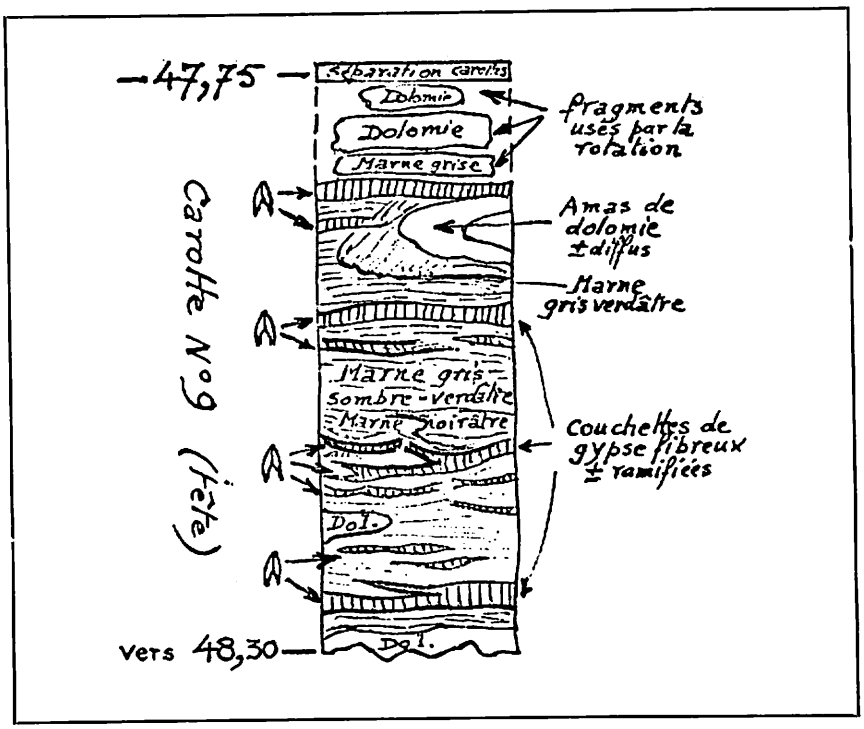
Le second, à l'extrémité sud de la coupe, a trouvé et exploré, sous le Keuper et la Lettenkohle inaltérés, la dolomie terminale du Muschelkalk donnant une faible venue artésienne avec de minimes possibilités de débit.

Le troisième sondage, implanté près d'une ancienne source réputée « sulfureuse », a recoupé successivement trois réserves aquifères dont les pressions étaient respectivement et progressivement croissantes : dans la couverture alluvionnaire comportant d'ailleurs des sables gypseux caractéristiques, dans le Keuper inférieur partiellement désagrégé, puis dans la même dolomie que celle du sondage n° 2.

Une succession identique a été découverte par le quatrième sondage sous un manteau alluvionnaire localement plus épais. Le Keuper était ici totalement lessivé et soliflué. Les deux premières formations ayant été étanchéisées à refus par une gaine d'argile spéciale, la reconnaissance hydrologique de la nappe de la dolomie, dite « Dolomie blanc-crème » a pu être effectuée sélectivement : son niveau piézométrique s'est stabilisé à + 5 m par rapport au sol, soit à la cote + 331 NGF et ses conditions de débit se sont



16



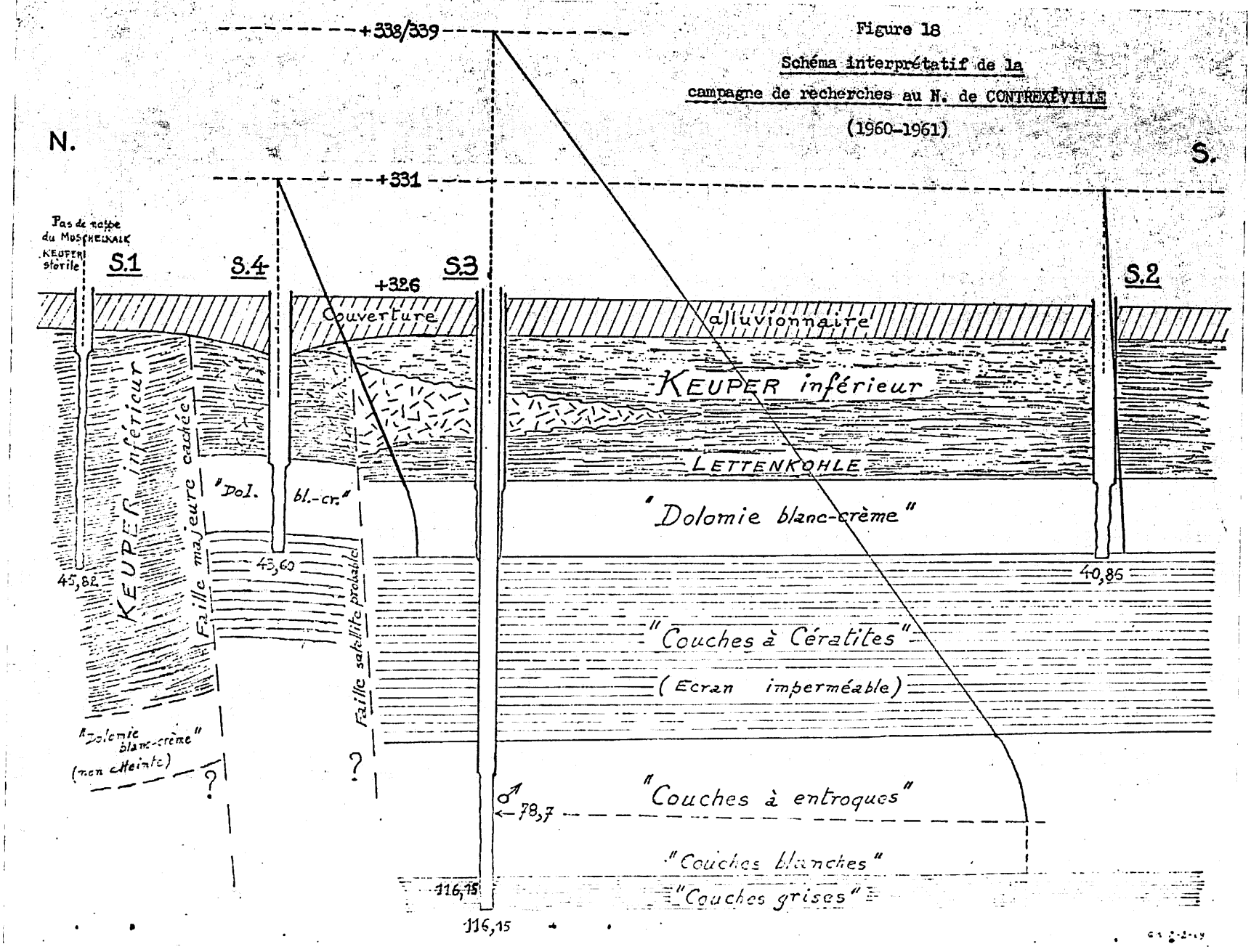
17

FIG. 16 et 17. — *Forage « Great-Source » à Contrexéville (Vosges) Approfondissement 1955. Croquis de deux passes de carottage typiques à la limite « Couches blanches » /« Couches grises ». (Diamètre des carottes : 82 mm.)*

Figure 18

Schéma interprétatif de la campagne de recherches au N. de CONTREXÉVILLE

(1960-1961)



ici révélées appréciables. Mais les pompages expérimentaux ont eu pour conséquence fortuite de tarir brusquement l'ancien captage du Rond-Buisson, distant de plus de 200 m sur l'autre rive du ruisseau, et dont le gîte alimentaire était ainsi parfaitement identifié.

La structure géologique de ce secteur très couvert était, dès lors, suffisamment élucidée : la faille majeure limitant au nord le bassin de Contrexéville-Outrancourt était localisée, sous le remplissage alluvionnaire de la vallée, entre deux axes de recherche distants d'une quarantaine de mètres, ainsi qu'une fracture satellite de plus faible rejet dont le rôle était fondamental pour le système aquifère très anciennement exploité.

ficié, en 1965, d'une autorisation d'exploitation sous le nom de Reine-Lorraine.

Au point de vue de la technique des captages, la campagne de Rond-Buisson avait donné d'utiles indications pour procéder à la traversée, au soutènement et au captage des eaux et des terrains tendres, mais ébouleux et parfois incohérents situés au toit du massif dolomitique et calcaire du Muschelkalk supérieur.

Au point de vue géologique et hydrologique la continuité du gîte, indiquée par les coupes structurales, se trouvait confirmée. Toutefois, la position et l'unicité de la venue profonde mise à jour soulignaient le caractère aléatoire des circulations hydrominérales à grande distance et sous forte couverture. Dans de telles conditions, les horizons les plus produc-

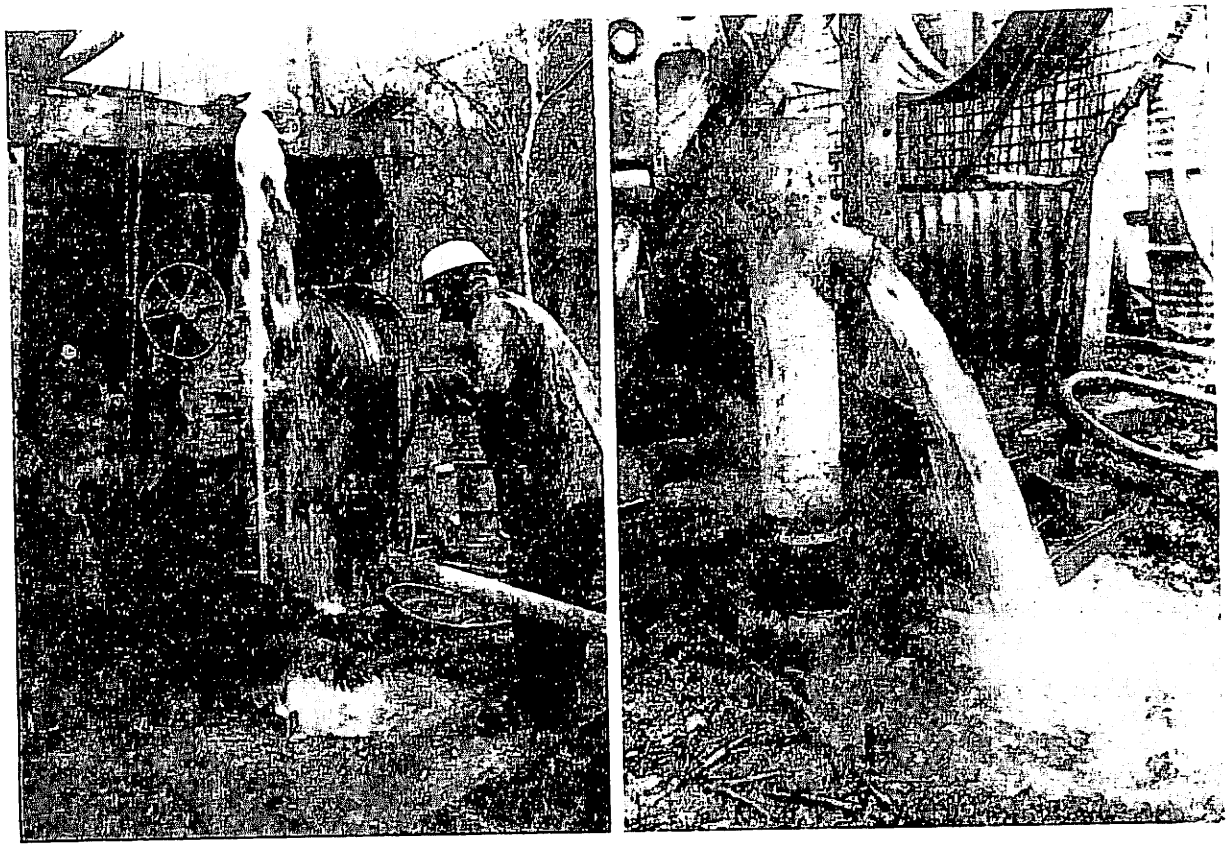


FIG. 19. — *Venues d'eaux artésiennes obtenues par captages sélectifs au nord de Contrexéville*

La poursuite du sondage n° 3 a, enfin, conduit à la découverte d'une importante venue jaillissante, mais ponctuelle, dans le massif à entroques du Muschelkalk supérieur (fig. 19). Sa pression d'émergence correspondait à un niveau piézométrique mesuré au voisinage de la cote + 338 NGF.

Rationnellement captée, rigoureusement isolée des nappes sus-jacentes, cette nouvelle émergence a bénétifs près des affleurements voient leur perméabilité se réduire ou s'annuler du fait de l'imprégnation de leurs pores par des dépôts séléniteux. En revanche, de nouveaux réservoirs, d'importance à la vérité plus réduite mais de propriétés hydrochimiques apparentées permettaient d'étendre à une série stratigraphique bien distincte de la précédente la notion de gîte hydrominéral.

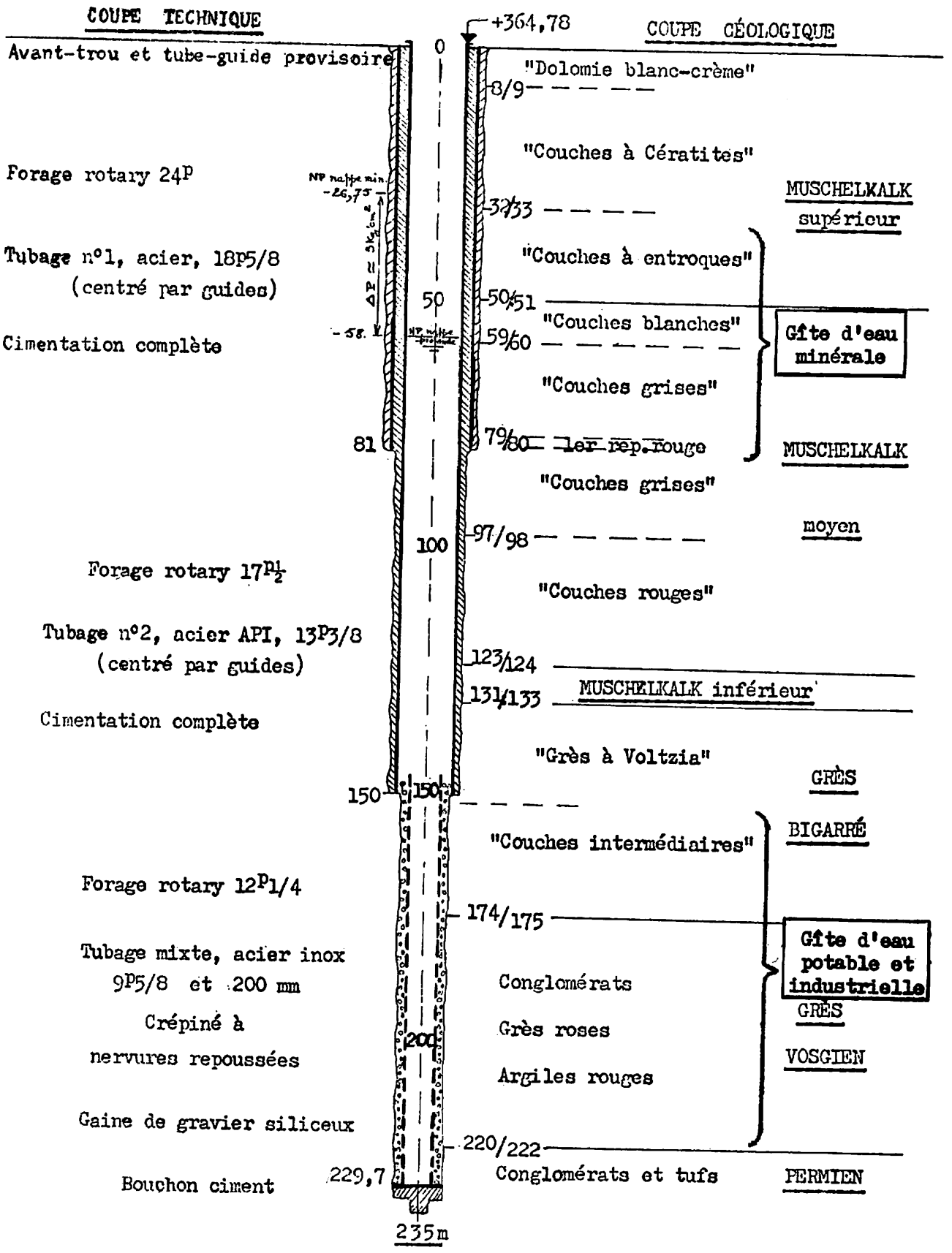


FIG. 20. — *Exemple de forage profond dans le bassin de Contrexéville*

LA NAPPE PROFONDE DU BASSIN DE CONTREXÉVILLE. ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSIONS TIRÉS DE SA RECONNAISSANCE.

Compte tenu de l'élimination naturelle permanente des principes minéralisateurs recelés par le terrain (*) et de conditions d'alimentation relativement modestes, l'économie du gîte hydrominéral postulait une limitation dans l'usage de la nappe du Muschelkalk, en ce qui concerne l'eau de consommation courante et de service.

Plusieurs recherches avaient d'ailleurs montré que cette réserve ne pouvait utilement couvrir une demande qui allait croissant d'année en année.

La nappe des grès du Trias inférieur est apparue comme le seul recours pour résoudre ce problème d'intérêt général. Cinq stations exploitant des forages d'une profondeur de 170 à 250 mètres ont été créées dans ce but entre 1956 et 1968.

Cette entreprise n'est évoquée ici que pour compléter nos connaissances relatives aux eaux de cure et pour mettre en relief les éléments nouveaux acquis à ce sujet.

Le risque majeur, lié à l'incertitude qui planait sur l'origine réelle du gîte minéral, résidait en la traversée de celui-ci *sans qu'il en résulte aucun préjudice pour les sources autorisées.*

Cette difficulté a été facilement surmontée grâce au forage « à sec » et à la pose d'une première colonne de protection cimentée en plusieurs passes entre le mur des horizons intéressés et la surface du sol.

La séquence inférieure du Muschelkalk moyen, reconnue pratiquement imperméable, a pu ensuite être forée avec injection de boue jusqu'au toit du Grès bigarré.

Une seconde colonne étanche, cimentée sous pression depuis cet étage jusqu'au jour, vient alors doubler la protection de la nappe minérale.

Les grès de base de la série sont enfin reconnus par perforation à sec ou à l'eau claire.

La recherche comprend, en somme, trois étapes successives (cf. coupe n° 20) dont chacune apporte une réponse précise, et finalement favorable, aux problèmes posés :

— en première phase, la *nappe minérale* a été généralement recoupée dans ses horizons classiques, *sauf à très grande distance des affleurements.* Comme il a été signalé précédemment, son niveau piézométrique se tient au voisinage de la cote + 338 NGF ;

— lors de la deuxième phase, il a été constaté, dans tous les cas, que cette réserve, bien individualisée, était limitée en profondeur par une *puissante éponte inférieure* dotée d'une très faible drainance et stérile ;

— la troisième phase découvre, dans le Trias inférieur, une *nappe importante,* peu sensible aux épisodes pluvieux passagers, dont la cote piézométrique, comprise entre + 312 et + 305 NGF, correspond à une *différence de pression de l'ordre de — 3 kg/cm² par rapport à la nappe supérieure.* Sa température surpasse de 4 à 5° C celle de cette dernière et sa minéralisation est, en moyenne, 5 à 7 fois plus faible.

Ces divergences, constatées et mesurées dans des captages réalisés selon toutes les règles de l'art, ont apporté les preuves décisives, qui manquaient à nos prédécesseurs, concernant l'indépendance presque absolue de deux ensembles aquifères dont l'exploitation, parallèlement conduite, représente pour l'ensemble du bassin de Contrexéville, pour ses usagers et ses curistes, un facteur essentiel de progrès, de santé et de prospérité.

La devise dont sont assorties les armes de la ville : « Fons non fama minor », se trouve ainsi doublement justifiée par d'heureuses conjonctures naturelles.

(*) 200 à 300 tonnes de constituants solubles, correspondant par exemple à un volume de gypse de plus de 100 mètres cubes, lui sont enlevés chaque année par un écoulement permanent de 10 m³/heure dans l'une des sources autorisées.

- VIC

SPÉCIALISATION MAJEURE DE LA STATION :

Foie, voies biliaires et nutrition.

SPÉCIALISATION SECONDAIRE :

Troubles du métabolisme des lipides et des glucides.

Uricémie. Spasmophilie digestive.

Colite de fermentation.

TROIS INDICATIONS CLÉS D'ACTUALITÉ :

Séquelles d'hépatite et de cholécystectomie.

Gastrite et hernie hiatale.

Migraine, allergie digestive, vomissements acétonémiques.

HY -

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE L'ÉQUIPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT :

Les Services des Etablissements thermaux sont très largement pourvus d'un équipement de balnéothérapie, d'hydrothérapie et de mécanothérapie leur permettant de donner jusqu'à 6 000 opérations par jour dans 500 postes de traitements différents.

Cet équipement est en cours de rénovation. Les projets élaborés à l'occasion du renouvellement de la Convention avec l'Etat doteront, notamment le Grand Etablissement, d'un ensemble de moyens en Médecine Physique les plus modernes et les plus diversifiés.

Notons, également, le bon fonctionnement d'un Restaurant Diététique et la création envisagée d'une nouvelle Maison d'Enfants pour cure thermale.

Outre cette organisation de soins externes qui renforcent l'action essentielle de la cure de boisson, la Station bénéficie d'un environnement culturel, artistique et sportif exceptionnel, dont un plan d'eau et un centre Omnisport récemment aménagé.

Cette somme de ressources ajoute ses propres effets et concourt à la réalisation de cet état de mieux-être et d'harmonie physiologique, expression définitive de la cure thermale.

D'autre part, Vichy poursuit ses efforts traditionnels dans le domaine de la Recherche Hydrologique et du contrôle de l'action de ses eaux et maintient ses contacts avec le Corps Médical, particulièrement sous forme de Congrès et de Voyages d'Etudes pendant la saison.

SÉANCE DE L'APRÈS-MIDI

Président de séance : M. le Professeur P. DESGREZ.

Le PRÉSIDENT. — La parole est au docteur Ninard sur la surveillance des eaux conditionnées.

LES EAUX DE BOISSON CONDITIONNÉES

par Bernard NINARD

La présente communication a pour but de mettre en garde contre certaines pratiques abusives, concernant les eaux conditionnées, qui tendent, de plus en plus, à se développer, surtout dans certaines régions.

Elle envisage essentiellement les eaux destinées à la boisson courante et ne concerne donc les eaux minérales qu'accessoirement, et dans les limites où celles-ci sont utilisées pour un usage qui n'est pas à proprement parler le leur, mais pour lequel elles sont souvent employées, en particulier sur prescription médicale, de façon à faire bénéficier le consommateur d'une stabilité de composition, obligatoire seulement pour cette catégorie d'eaux et garantie par un contrôle particulièrement rigoureux.

Pour faciliter l'exposé, nous donnerons d'abord, pour situer le problème, une vue d'ensemble de la réglementation en vigueur, concernant les diverses catégories d'eaux conditionnées, dont les normes résultent du statut qui leur est attribué par leur autorisation d'exploitation et qui constituent les bases de leur surveillance.

Nous exposerons ensuite les arguments permettant de contester l'utilisation des eaux traitées et de distribution publique par canalisation pour le conditionnement.

RÉGLEMENTATION EN VIGUEUR

La réglementation en vigueur peut être, pour la commodité de l'exposé, répartie sous deux rubriques :

— Réglementation concernant l'eau elle-même,
— Réglementation concernant les opérations de conditionnement.

1) RÉGLEMENTATION CONCERNANT L'EAU.

Elle comprend :

— *un texte initial commun à toutes les catégories d'eaux conditionnées en fixant le statut, émanant du Service de la Répression des Fraudes (Décret du 12 janvier 1922 modifié par le décret du 24 mai 1957).* De façon extrêmement judicieuse pour l'époque, ce texte réglementait les eaux conditionnées réparties en en

- *eaux minérales naturelles,*
- *eaux minérales artificielles,*
- *eaux de source,*
- *eaux gazeuses* (1),
- *eaux gazéifiées* ;

(ce texte étant d'ailleurs le seul dans lequel on trouve une définition des eaux minérales de caractère officiel) ;

— *Des textes ultérieurs émanant de la Santé publique, particuliers à chacune des deux catégories résultant du groupement des divers types d'eaux énumérés ci-dessus.*

Eaux minérales :

Des textes séparés réglementant :

- *l'un, l'autorisation d'exploitation,*

Décret du 28 mars 1957
(qui n'envisage que les conditions requises pour qu'une eau soit autorisée à être exploitée comme eau minérale) ;

(1) Pratiquement il n'en existe pas qui ne soient « *minérales* ».

– *les autres, la surveillance,*

Arrêté du 14 octobre 1937.
Circulaire du 4 décembre 1937.

Aucun ne fixe d'ailleurs de normes pour l'eau.

Ces normes sont spécifiées dans chaque arrêté d'autorisation (le plus souvent par simple renvoi aux résultats d'examens du service Hydrologie et Thermalisme du Laboratoire National du Ministère de la Santé Publique mentionnés *in extenso* dans le texte du rapport de la Commission des eaux minérales de l'Académie Nationale de Médecine publié dans le bulletin de celle-ci).

Eaux ordinaires (potables et gazéifiées) :

Les textes de réglementation sont ici communs à l'autorisation d'exploitation et à la surveillance, fixant les normes de ces eaux dans l'abstrait sous forme de limites à ne pas dépasser, l'autorisation préfectorale ne constituant alors qu'un satisfecit aux normes fixées par ces textes généraux qui sont les suivants :

Décret du 1er août 1961.
Arrêté du 10 août 1961.
Circulaire du 15 mars 1962.
Arrêté du 17 septembre 1967.
Circulaire du 8 septembre 1967.

Il est à remarquer à ce propos, en ce qui concerne le conditionnement des eaux non minérales, que :

— *les eaux gazéifiées furent les premières à être conditionnées.*

Elles existaient, en fait, bien avant, même, d'être soumises à autorisation, par décret du 12 janvier 1922, et pour cette raison antérieurement à ce décret, donc en l'absence de tout texte d'autorisation, il existait déjà des textes de réglementation concernant leur surveillance.

Arrêté du 9 mai 1887.
Circulaire du 31 décembre 1910.

— *les eaux ordinaires plates ne le furent qu'ensuite*

Au début de l'ère de l'embouteillage des eaux non minérales, il n'était en effet venu à l'idée de personne de les conditionner ; c'est seulement lorsque les eaux de distribution publique par réseau de canalisation ont commencé à faire appel à des ressources autres que les eaux d'origine souterraine bien protégées, que, du fait de la dégradation des qualités organoleptiques en résultant, les eaux potables conditionnées apparurent, à côté des eaux minérales et des eaux gazéifiées ;

— au début, conformément au décret du 12 janvier 1922 du Service de la Répression des Fraudes, elles furent exclusivement des « *eaux de source* »,

— mais la consommation, s'en étant rapidement accrue, à la fois du fait de la nécessité et aussi du snobisme. Comme ces facteurs, associés à la naïveté du public, sont la source la plus sûre et intarissable de profits, certains exploitants, peu scrupuleux, s'autorisant d'une interprétation abusive des textes de réglementation (comme nous le verrons plus loin) se sont mis à conditionner les eaux qu'ils avaient le plus facilement à leur disposition :

eaux de mauvaise qualité à l'état naturel, demandant à être traitées pour être potables (1),

eaux de distribution publique (qui sont généralement des eaux superficielles traitées pour être rendues potables).

2) RÉGLEMENTATION CONCERNANT LES OPÉRATIONS DE CONDITIONNEMENT.

Il existe :

— *des textes particuliers à l'embouteillage des eaux minérales :*

Décret du 11 décembre 1964.
Arrêté du 21 décembre 1964.
Circulaire du 27 janvier 1965.

— *des textes concernant les matériaux de conditionnement autres que le verre :*

Circulaire du 23 juillet 1969.
– pour les eaux potables et gazéifiées.

***

Nous allons maintenant étudier les deux points particuliers d'importance pratique qui sont à l'origine de la présente publication et la justifient.

***

CONTESTABILITÉ DE L'UTILISATION D'UNE « EAU TRAITÉE » POUR LE CONDITIONNEMENT

— *Alors que le Code de la Santé modifié par l'Ordonnance,* le *Décret et l'Arrêté,* ne mentionne pas si les conditions de potabilité doivent être réalisées sans ou après traitement.

— *La Circulaire,* par contre (2) laisse s'introduire subrepticement la notion que « *l'eau potable conditionnée* » POURRAIT ETRE UNE EAU TRAITÉE.

---

(1) Il est regrettable que les services responsables, non seulement n'aient pas réagi immédiatement à cette infraction, mais encore, aient entériné cet état de fait, officialisant et légalisant en quelque sorte par leur tolérance cette catégorie particulière d'eaux en lui attribuant un nom spécial, celui d' « *eaux de table sensu stricto* ».

(2) Qui n'est, rappelons-le, qu'un recueil d'instruction destiné à faciliter l'application du décret et de l'arrêté sans valeur légale ou réglementaire.

Voici le texte introduisant cette notion (*Titre II - eaux embouteillées*).

Alors qu'un paragraphe stipule :

« D'autre part, il n'est pas prévu de tolérance microbienne « dans le cas d'une eau traitée, étant entendu que les eaux « captées doivent présenter à l'origine tous les caractères d'une « eau de très bonne qualité ».

ce qui signifie bien, de toute évidence, que l'eau à embouteiller devrait être obligatoirement une eau naturellement pure (tout au moins du point de vue bactériologique, n'ayant donc pas à être traitée).

Le paragraphe immédiatement consécutif (*a, eau à l'émergence*), tout en mentionnant que :

« L'eau devra donc provenir d'une nappe souterraine « naturellement bien protégée et le gîte aquifère sera mis à « l'abri de toute souillure dangereuse ».

admet

« Certaines eaux pourront cependant contenir des *germes « saprophytes dont la présence n'est pas un signe de contamination « susceptible de les faire rejeter*, mais dont l'abondance quelque- « fois très élevée par suite de leur multiplication dans ces « eaux conservées peut « entraîner des troubles de leur qua- « lité marchande ».

« Pour le dénombrer, on utilise les milieux décrits en annexe. « La présence de ces bactéries se comportant comme des « germes « autotrophes » *JUSTIFIERA SOUVENT L'AP- « PLICATION D'UN TRAITEMENT PHYSIQUE DE « L'EAU*, il sera alors choisi parmi ceux qui sont autorisés « dans ces cas particuliers ».

Il y a là, évidemment une tentative pour introduire un traitement qui, précisons-le tout de suite, n'est pas un traitement destiné à « *désinfecter* » l'eau, c'est-à-dire à détruire :

1) *essentiellement les germes pathogènes* qu'elle pourrait *éventuellement* contenir ;

2) *par voie de conséquence, les germes stigmates de souillure* fécale qui, de toute probabilité, leur seraient associés et, qui plus nombreux et plus faciles à détecter prouvent, avec certitude, par leur disparition à la suite du traitement institué, que les premiers qui sont moins résistants qu'eux, s'ils existaient ont bien été détruits.

Cette disposition (qui notons-le bien, n'envisage que les microbes saprophytes banaux, présents dans toutes les eaux) n'a été visiblement introduite que pour éviter des contestations tenant à la multiplication inéluctable de ces germes après conditionnement, mais en fait elle n'a pas manqué d'être étendue abusivement aux traitements « *désinfectants* ». C'est pourquoi, personnellement, nous pensons qu'étant donné, en outre, les autres inconvénients que présentent les traitements des eaux conditionnées, il vaut mieux qu'ils restent interdits d'une façon absolue.

C'est pourquoi, nous écrivons dans un travail antérieur :

— *Quant au dénombrement des microbes aérobies cultivant sur gélose*

- *daus l'eau à l'émergence,* on sait *qu'il n'a de signification que par comparaison à la teneur microbienne normale de cette eau à la même période de l'année* (ce qui exige donc de posséder une courbe référence du microbisme qualitatif et quantitatif établie sur plusieurs années (condition bien rarement réalisée) car, pour les diverses eaux, celle-ci est très différente ;
- *dans l'eau conditionnée,* il *est pratiquement dépourvu de signification,* étant donné la multiplication fatale du nombre de germes pré-existants (autotrophes en particulier) suivant une *courbe variable selon ce que sont :*
  - *à l'origine :*
    la teneur microbienne,
    la composition de l'eau ;
  - *ainsi, bien entendu, qu'ultérieurement, les conditions de conservation.*

C'est donc, avec raison et en connaissance de cause, qu'en France, aucun critère n'a été fixé sous forme de limites quantitatives dans des textes de réglementation de caractère général et cela dès l'émergence même et à plus forte raison après conditionnement.

On comprend facilement que *pour les eaux conditionnées* en particulier, il ne peut matériellement pas y avoir concordance des résultats obtenus à des examens successifs (tout au moins pour les eaux n'ayant pas subi de traitement stérilisant, comme c'est fatalement le cas des eaux obligatoirement non traitées que sont :

— *les eaux minérales,*

— *les eaux potables naturellement pures* (actuellement dénommées « eaux de *source* », les seules dont nous souhaitons le maintien pour le conditionnement.

Mais il est alors évidemment obligatoire :

que l'eau destinée au conditionnement soit à l'origine de qualité microbiologique parfaite.

S'il est difficile de fixer un nombre de germes aérobies se développant à 22° en 72 h ou 96 h.

Il ne doit pratiquement pas y en avoir se développant à 37° en 24 h (sauf s'il s'agit d'eaux minérales chaudes) ;

que la surveillance bactériologique des bouteilles après lavage et des capsules, soit effectuée systématiquement, permettant le cas échéant, d'apprécier les apports microbiens éventuels de cette origine.

Cette position française (différente de celles qui ont cours dans certains pays voisins) est basée sur le fait que l'eau ne contenant pas à l'origine de germes à signification péjorative, de telles bactéries, même nombreuses, n'étant certainement pas nuisibles (et peut-être même, pas inutiles), il vaut mieux laisser le microbisme normal suivre son évolution inéluctable (multiplication) plutôt que de risquer d'être éventuellement abusé par les résultats d'une stérilisation permettant de dissimuler qu'au départ, l'eau conditionnée a pu être gravement contaminée et interdisant alors à tout jamais de s'en rendre compte par la suite (d'autant plus que l'ingestion, même à l'état de cadavres, d'espèces pathogènes ou seulement témoins de malpropretés, peut, d'ailleurs, ne pas être sans inconvénients).

Cependant, pour satisfaire aux desiderata des Autorités de certains pays étrangers, qui s'obstinent, contre toute lo-

gique, à exiger, surtout des autres, des critères pratiquement impossibles à satisfaire pour les eaux plates (en se basant, d'ailleurs pour cela sur le cas tout différent des eaux carbo-effervescentes, pratiquement les seules conditionnées dans leur pays) il serait facile de débarrasser l'eau de tout microbe, mais seulement par filtration stérilisante. Surtout s'il s'agit d'une *eau minérale*, en aucun cas, bien entendu, il ne pourrait être fait usage d'un procédé chimique (addition à l'eau d'une substance étrangère) ou même physique (irradiation) risquant de modifier la structure de ses composants.

Ce traitement n'altèrerait aucune de ses propriétés, même dans les cas où il s'agit d'une des eaux minérales actuellement conditionnées). Toutefois, dans ce cas particulier, ce traitement devrait alors être admis par l'Académie et faire l'objet d'une autorisation pour les eaux qui le subiraient (tout au moins si elles étaient vendues sur le territoire national) et cela avant conditionnement (ce dernier, avec les procédés actuellement utilisés ne posant d'ailleurs, pratiquement plus de problème pour en obtenir la stérilité bactériologique absolue, le cas échéant. Mais le jeu en vaut-il le chandelle.

D'autant plus, que, si l'on devait recourir à cet artifice, il faudrait, bien entendu, avant filtration, être encore plus intansigeant sur la qualité bactériologique de l'eau.

A noter que dans ce cas de stérilisation par filtration avant conditionnement, l'exploitant ne pourra pas vendre ce produit sous l'étiquette « *eau stérilisée* » ; s'il désire le faire pour offrir au consommateur toutes les garanties du traitement indiqué, celui-ci devra avoir été pratiqué seulement après conditionnement en récipient hermétiquement clos.

Déjà, la *Circulaire du 16 juillet 1910* signalait avant le décret du 12 janvier 1922 :

« Elles sont parfois stérilisées avant la mise en bouteilles « et vendues comme « eaux de stable stérilisées ».

« Étant donné que, par suite de la mise en bouteilles, des « germes divers sont introduits dans l'eau et s'y développent, « la stérilisation perd ses effets et l'acheteur est trompé sur la « nature du produit vendu. Dans ces conditions il y a lieu « d'exiger que les étiquettes des bouteilles d' « *eaux de table* » « de cette catégorie portent la mention bien apparente « *stéri-* « *lisée avant la mise en bouteilles* ».

De plus, dans l'Annexe C de la Circulaire : Instructions aux laboratoires agréés par le Ministre de la Santé Publique et de la Population pour l'étude et la surveillance des eaux (Titre III - l'Analyse : A propos de l'Analyse de type III : analyse de surveillance réduite), il est prévu :

— le dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs EN CAS D'EAU TRAITÉE,

— le dénombrement des streptocoques fécaux (Groupe D de Lancefield) EN CAS D'EAU NON TRAITÉE :

ce qui oblige bien alors d'admettre qu'il peut y avoir traitement et bien traitement « *désinfectant* », étant donné les deux éventualités envisagées.

Par voie de conséquence de ces textes, on est donc obligé d'admettre que les « *eaux potables conditionnées* » peuvent comporter deux qualités différentes :

— *des eaux de qualité supérieure :* les « EAUX POTABLES à l'état naturel » correspondant à la définition des « *eaux de source* » du service la de répression des fraudes, citée plus haut.

— *des eaux de qualité inférieure :* dont l'étiquette devrait porter leur vraie dénomination, celle d'EAUX TRAITÉES pour être potables » arbitrairement désignées sous la dénomination d' « *eaux de table* » (sensu stricto) (1), en raison de ce que l'on a été obligé, en somme, de constituer une catégorie d'exclusion, destinée à recevoir les eaux potables conditionnées qui n'ont pas droit à l'appellation « *eau de source* ».

En ce qui concerne le conditionnement de ces « eaux traitées, pour être rendues potables » ou « eaux de table sensu stricto », quelle qu'en soit l'origine (captage privé ou eau de réseau de distribution publique), il devrait logiquement être interdit.

De telles eaux ne correspondent pas, en effet, à l'intention de l'acheteur de se procurer, relativement onéreusement, une eau qu'il croit de qualité supérieure :

— *le plus souvent, pour éviter justement, d'avoir à consommer une eau traitée,* du moins le croit-il, car il n'est pas obligatoire dans la réglementation en vigueur que le traitement soit mentionné sur l'étiquette, ce qui est une lacune regrettable, et le plus souvent ignoré du consommateur, la dénomination d' « eau de table » ne signifiant « eau traitée » que pour les initiés. Sa signification est parfois ignorée des exploitants eux-mêmes (nous connaissons des marques d'eau qui sont des « eaux de source » et que l'exploitant préfère vendre sous le nom « d'eau de table » trouvant que cela fait mieux) ;

— *quelquefois, au contraire, spécialement pour consommer une eau traitée,* trompé qu'il est par une publicité de caractère pseudo-scientifique et abusive de l'exploitant (parfois d'ailleurs de bonne foi et crédule lui-même) vantant la qualité supérieure conférée à l'eau par le traitement institué et laissant ou faisant croire que son eau traitée serait meilleure que les eaux non traitées

CONTESTABILITÉ DE L'UTILISATION D'UNE « EAU DE DISTRIBUTION PUBLIQUE » POUR LE CONDITIONNEMENT.

Cette utilisation :

— *d'une part, n'est pas formellement exclue par la réglementation émanant du Service de la Répression des Fraudes : décret du 12 janvier 1922,* stipulant seulement :

« *l'eau doit avoir une origine déterminée* »

(ce qui, nous l'avons vu plus haut, a déjà ses conséquences) ;

— *d'autre part, est parfaitement licite aux termes de la réglementation de la Santé Publique :*

— Si *la Circulaire* reste muette à ce sujet,

(3) Avant même que cette dénomination ait été utilisée dans la réglementation en dehors de la circulaire du 16 mai 1910, dans la circulaire du 23 juillet 1969, concernant l'autorisation du conditionnement en matériau autre que le verre, d'ailleurs abrogée et remplacée par la circulaire du 15 juillet 1971 qui remplace le terme « d'eau de table » par celui « d'eau potable ».

— *le Décret et l'Arrêté*, eux, la prévoient bien ;

– *le Décret*, bien qu'il n'y soit nulle part expressément mentionné que l'eau d'adduction publique puisse être utilisée, stipule (art. 9) :

« Si l'eau utilisée provient d'une adduction privée, l'exploi-
« tant est, en outre, soumis aux obligations prévues aux articles
« 4, 6, 7 du présent règlement concernant les adductions »

Ceci semblant donc sous-entendre que l'eau conditionnée pourrait être en premier lieu une eau d'adduction publique, puisque le recours à une adduction privée n'est envisagé qu'au conditionnel.

– *l'Arrêté* est encore plus précis et il y est spécifié à l'art. II :

« Les dossiers doivent comprendre les pièces suivantes:
« un mémoire contenant toutes indications susceptibles de
« renseigner sur l'origine de l'eau que l'on se propose d'em-
« bouteiller :

« a - s'il s'agit d'une adduction publique, etc.,
« b - s'il s'agit d'une adduction d'eau privée... ».

Il n'y a donc aucun doute, la réglementation actuelle, émanant de la Santé Publique, permet donc d'utiliser pour le conditionnement et de vendre après embouteillage, l'eau d'un réseau collectif de distribution publique (généralement traitée) sous le nom d'« *eau de table* » (et à un prix de vente au litre sensiblement voisin de celui du prix payé au mètre cube du réseau de distribution, ce qui nous paraît scandaleux.

Toutefois, dans certains cas, cette pratique de l'utilisation pour le conditionnement d'une eau de distribution publique peut cependant être interdite, en vertu :

— *d'une part, éventuellement, d'une clause de la réglementation de la* Santé Publique, figurant dans la Circulaire (Titre II a) qui passe facilement et souvent inaperçue :

« L'eau devra provenir d'une nappe souterraine ».

Or, la plupart des eaux de distribution publique sont presque toujours des mélanges de différentes origines, parmi lesquelles les eaux d'origine superficielle, mais, si ce texte n'est pas ignoré des experts du Service de la Répression des Fraudes, ce qui les gêne surtout dans leurs contrôles, c'est, le plus souvent, d'ignorer l'origine de l'eau ; de toute façon, si celle-ci provient exclusivement d'une nappe souterraine, le conditionnement ne peut être interdit.

— *d'autre part, d'un texte de la réglementation du Service de la Répression des Fraudes*, le décret du 24 mai 1957, mais qui ne permet pas formellement cette interdiction dans tous les cas, édictant, art. 3 :

« constitue le délit prévu à l'article 1er de la loi du 1er août
« 1905 :

« 3) le fait de vendre sciemment sous plusieurs dénominations
« distinctes une seule et même eau ».

Donc, en ce qui concerne le conditionnement de ces eaux de distribution publique, la réglementation ne l'interdit pas de façon absolue. *Elles pourraient même être considérées comme eaux de source, si elles remplissaient des deux conditions suivantes :*

— être potables à l'état naturel,
— être d'origine unique et exclusivement souterraine bien protégée.

Déjà, cela semblerait cependant pouvoir être interdit dans le cas contraire :

— par l'article 1 du décret du 12 janvier 1922 car :

— *elles ne sont pas introduites à l'émergence directement dans les récipients*, mais en transitant par des canalisations ne les amenant pas directement dans ces récipients ;
— *elles ne pourraient donc, alors, être considérées que comme « eaux de table sensu stricto »* dont nous avons proposé l'interdiction, et cela, à plus forte raison, si ce sont des eaux traitées ou des eaux d'origine multiple ou non souterraines.

Mais, en outre, par l'esprit de l'article 2 de ce même décret, selon lequel

« constitue le délit prévu à l'article 1er de la loi du 1er août
« 1905...

« 3) le fait de vendre sciemment sous plusieurs dénomina-
« tions distinctes, une seule et même eau ».

En effet, si l'on s'en tient à la lettre, cette interdiction ne serait effective que pour les collectivités vendant une eau leur appartenant,

— d'une part, comme eau de distribution publique,
— d'autre part, conditionnée dans une exploitation qu'elles effectueraient directement.

Mais cette interdiction ne pourrait actuellement être étendue, légalement, à des particuliers achetant l'eau de distribution pour la conditionner, à moins de modifier la rédaction de ce texte de la façon suivante :

« Le fait que l'eau vendue le soit sous plusieurs dénomi-
« nations ».

Il resterait alors seulement à régler l'éventualité où cette eau ferait l'objet d'une distribution gratuite, dans l'un des deux cas, ce qui après tout, est possible et pourrait d'ailleurs être admis, mais semble toutefois devoir être peu fréquent.

Il suffirait, pour rendre l'interdiction absolue, de modifier ainsi le texte :

« Le fait que l'eau délivrée à titre gratuit ou onéreux, le « soit sous plusieurs dénominations ».

Enfin, il n'est ni logique, ni peut-être même légal (mais nous laissons aux juristes le soin d'en décider) que le capital engagé par une collectivité pour réaliser un captage et une adduction d'eau (comme toute autre réalisation publique) devienne une source de bénéfice exclusive pour une personne ou société privée.

Quoi qu'il en soit, logiquement, si l'eau de distribution publique est potable, il n'y a pas lieu, de tolérer un conditionnement qui n'apporte aucune amélioration à la qualité de l'eau et qui n'aboutit qu'à faire payer plus cher un produit identique au consommateur.

Si au, contraire, cette eau doit subir un traitement ultérieur pour en améliorer la qualité, et justifiant ainsi le conditionnement, nous retombons dans le cas précédemment évoqué d'une eau traitée dont le conditionnement ne devrait pas être toléré.

Il y aurait d'ailleurs lieu de signaler que si une amélioration de l'eau est possible par un traitement, l'information, sinon l'éducation du public ne serait pas inutile pour lui démontrer qu'il serait peut-être moins onéreux pour la collectivité que chacun de ses membres consente à payer un peu plus cher l'eau de distribution publique, pour financer cette amélioration qui bénéficierait à tous, plutôt que de recourir à l'achat individuel d'eaux conditionnées traitées qui reviennent d'ailleurs beaucoup plus cher à quantité égale aux seuls privilégiés qui ont des moyens suffisants pour se les procurer.

***

En définitif, si l'on s'en tient seulement aux termes de la réglementation en vigueur, au cours du contrôle de l'eau potable conditionnée, on ne peut donc actuellement exiger davantage que la conformité aux caractères de potabilité.

Donc, aux seules conditions :

— que le nom figurant sur l'étiquette ne soit pas un nom de source, (ce qui n'est, d'ailleurs pas obligatoire, actuellement), mais un nom de marque,
— que l'eau conditionnée respecte les critères de potabilité.

Une substitution à l'eau dont l'exploitation est autorisée peut parfaitement être effectuée matériellement :

— soit au moyen de l'eau d'une autre source,
— soit même au moyen de l'eau provenant du réseau de distribution publique (souvent utilisée pour le lavage des bouteilles).

sans que, dans les conditions actuelles, l'exploitant ne puisse être accusé d'avoir commis une infraction à la réglementation.

***

Actuellement la pratique la plus à redouter de ce point de vue, résulte de la tendance qu'ontles chaînes commerciales d'avoir une eau à leur marque. Il est bien évident que, pour éviter les frais de transport, ces organisations auraient avantage à conditionner, sous leur marque, dans chaque région, l'eau en provenant.

Dans ce cas (qui actuellement ne pourrait pas être qualifié d'infraction à la réglementation) le client habitué à une eau dans une région donnée et qui se sera déplacé dans une autre, sera trompé sur la qualité en achetant une eau portant la même marque et qu'il croira de même origine que celle qu'il consomme habituellement.

***

C'est sans doute pour éviter cette éventualité, qu'en stipulant que les résultats d'analyses pratiquées à deux reprises à six mois d'intervalle soient joints au dossier de l'eau à exploitation autorisée, la réglementation manifeste nettement une tendance à dépasser la simple satisfaction aux critères de potabilité et d'exiger la conformité à l'identité de l'eau conditionnée à celle de l'émergence utilisée.

Ceci nous paraît logique et, le cas échéant, nous signalons déjà, personnellement, dans nos contrôles (tout au moins pour les eaux qui sont vendues sous le nom d'eau de la source de...) la non conformité à l'analyse d'autorisation.

EN CONCLUSION

Dans l'un comme dans l'autre des cas précédents (eaux traitées ou eaux de distribution publique conditionnées), *l'exploitant abuse un peu trop de la confiance des consommateurs* qui, pour éviter de consommer des eaux traitées ou (à tort ou à raison) des eaux de distribution publique, consentent à payer un prix élevé sans commune mesure avec celui des dernières, pour que leur soient fournies des eaux de « qualité supérieure » garanties par leur origine souterraine et leur satisfaction sans traitement aux critères réglementaires de potabilité.

— *même si cet exploitant justifie les frais qu'il a eus :*
  - soit pour traiter l'eau qu'il extrait lui-même,
  - soit pour retraiter l'eau de la distribution publique qu'il utilise, de façon à supprimer les nuisances ou causes de désagréments, éventuellement échappées (1) ou mêmes dues au premier traitement (celui-ci étant institué systématiquement par simple précaution institué systématiquement par simple précaution et dans bien des cas alors même qu'il est inutile une bonne partie du temps),

— *et quelle que soit la qualité de l'eau fournie* (pouvant d'ailleurs *être irréprochable, même avant traitement*).

(1) Tels les goûts et odeurs désagréables dus à certaines algues végétant dans les canalisations ou à la formation de chlorophénols.

NOMENCLATURE ACTUELLE EN FRANCE DES EAUX CONDITIONNÉES UTILISÉES POUR LA BOISSON COURANTE
(eaux de table sensu lato) (a)

	EAUX ORDINAIRES (EAUX DE TABLE PROPREMENT DITES)		EAUX MINÉRALES (PRO PARTE) EAUX MINERALES DE TABLE (a)
	potables à l'état naturel (uniquement d'origine souterraine)	traitées pour être potables ou de distribution publique (d'origine non uniquement souterraine)	
PLATES	*Eaux de source*	*Eaux de table (a) (sensu stricto) (b)* (catégorie dont nous envisageons l'interdiction)	*plates* *Eaux minérales* *Eaux minérales naturelles*
CARBO-EFFER-VESCENTES naturellement :	n'existent pas de facto) (c)	(n'existent pas de facto) (c)	*gazeuses* *Eaux minérales* *Eaux minérales naturelles* *Eaux minérales naturellement*
CARBO-EFFER-VESCENTES artificiellement :	de source	traitées pour être potables ou avant gazéification de distribution publique	(n'existent pas « de jure »)
	Eaux gazéifiées (d)		

a) En ce qui concerne la dénomination des *eaux ordinaires* (non minérales) bien qu'il soit tentant de supprimer le mot d'*eau de source*, en ce qu'il évoque par trop l'*eau minérale* (1), il nous paraît toutefois souhaitable de le conserver et c'est le parti auquel semble s'être ralliée la « profession », et de renoncer plutôt à la dénomination « *eau de table* » (2), car si nous examinons les rubriques utilisant celle-ci dans notre tableau, nous constatons qu'elle se répète quatre fois, ce qui risque de créer des confusions. De plus, dans certains pays étrangers, elle s'applique à une catégorie particulière d'eau, l'*eau minérale de table* (3) qui ne correspond exactement ni à nos *eaux minérales*, ni à nos *eaux de table*.

b) Dont nous proposons l'interdiction, car il ne s'agit pas d'eaux de qualité supérieure (potables à l'état naturel, d'origine uniquement souterraine), qui ne devraient donc pas pouvoir prétendre au conditionnement.

c) De facto, à notre connaissance du moins, *il n'existe pas, d'eaux naturellement effervescentes conditionnées qui ne soient minérales.* Il devrait d'ailleurs en être de même de *jure*, étant donné la teneur en CO_2, libre (dissous), pour rendre une eau effervescente, lui confère des propriétés pouvant éventuellement constituer des contre-indications à son usage et conséquemment l'éliminant évidemment du cadre des *eaux potables*.

C'est pour la même raison que nous proposons que les *eaux rendues artificiellement effervescentes*, ou *eaux gazéifiées* qui doivent évidemment présenter néanmoins obligatoirement les caractères réglementaires de potabilité avant gazéification, soient également éliminées du cadre des *eaux potables* pour constituer une *catégorie absolument à part.* A cette condition, il ne nous semble pas qu'il y ait alors d'inconvénient à tolérer le conditionnement après gazéification d'une eaux traitée pour être potable ou d'origine non uniquement souterraine (ainsi que d'une eau de distribution publique par réseau de canalisation.) Les eaux conditionnées gazéifiées de ces deux origines réalisant de façon plus hygiénique, d'ailleurs, étant donné la fermeture inviolable du récipient, ce qu'était, jadis, *l'eau dite de siphon* ou de *Seltz*.

Mais, pour l'information de l'acheteur, il nous paraît cependant utile que l'origine de ces eaux soit nettement indiquée sur l'étiquette *(eau de source gazéifiée* ou *eau rendue potable par traitement (en indiquant lequel) gazéifiée*, ou *eau de la distribution publique de... gazéifiée)*, de façon à ce que celui-ci sache exactement à quoi s'en tenir.

d) L'incorporation de Co_2 ne provenant pas du gîte hydro-minéral est en effet un traitement qui, en France, n'est pas actuellement autorisé par la réglementation des eaux minérales, car il n'a jamais été admis par l'Académie de Médecine. Cette « gazéification » figure toutefois dans le projet de réglementation supra-nationale du Marché Commun. Reste à savoir si cette « hérésie » du point de vue « crénologique » sera admise par l'Académie de Médecine qui, pour être fidèle à sa doctrine, aura toujours le recours de ne plus reconnaître comme minérales les eaux qui subiraient ce traitement. En tout cas, logiquement, en aucun cas ces eaux ne devraient, tout au moins, pouvoir prétendre à la dénomination « d'eaux minérales naturelles », on pourra seulement, à la rigueur, leur appliquer celle « d'*eaux minérales gazéifiées* » ou d'*eaux minérales artificiellement effervescentes.*

---

(1) Une circulaire du 10 juillet 1910 l'employait dans cette acception ; elle stipule en effet : « Les conditions de vente des « *eaux minérales naturelles* » sont les suivantes, « *une eau de source* » peut être mise en vente... ».

(2) Ce terme d' « eau de table » a été utilisé à notre connaissance pour la première fois dans un texte officiel par la circulaire du 16 mai 1910 : « *Les eaux de table* » sont des « *eaux naturelles* » *auxquelles leur composition ne permet d'attribuer* aucune propriété thérapeutique... ».

(3) En Allemagne, ces eaux « minérales de table » doivent être des eaux non traitées et contenir au moins 1 g de minéralisation totale. Dans ces conditions, il est à souligner, que la plupart des eaux potables, et en particulier de distribution publique non traitées, en seraient l'équivalent si on les conditionnait.

(Voir Pr. Dr. Wilhelm Pfannestiel, Marburg /Lahn. « Vossitsender des Auschusses für Baderwersen und Kurunthygiene in Deutschen Bäderverband ». e.v. Rectification des explications faites au 3e symposium Intern de Microbiologie Aliment. 3 /9 septembre à Evian, reproduites de travers aux Annales de l'Institut Pasteur de Lille (V. 1, XI, année 1960, p. 140-141).

EN RÉSUMÉ

En dehors

— des « *eaux minérales naturelles* » qui ont un statut bien précis et à propos desquelles nous dirons seulement que toute eau *naturellement carbo-effervescente*, devrait être automatiquement considérée comme « eau minérale », ce qui a d'ailleurs toujours été jusqu'ici la décision de l'Académie Nationale de Médecine, seule autorisée à se prononcer dans ce cas (à condition, bien entendu de satisfaire aux autres impératifs requis pour que leur autorisation puisse être accordée) ;

— des « *eaux minérales artificielles* » (aujourd'hui disparues).

la nomenclature des « eaux de boisson conditionnées » actuellement sur le marché devrait comprendre trois catégories d'eaux :

— Eaux minérales (plates ou gazeuses),
— Eaux de source
— Eaux gazéifiées.

Elle peut être schématisée dans le tableau ci-contre dont les notes résument et précisent notre position (personnelle) à ce sujet.

LE PRÉSIDENT. — Je remercie le Docteur Ninard de son exposé, de son rapport qui est à la fois rassurant puisque c'est lui-même qui s'occupe de la surveillance des eaux, — nous savons que dans ces conditions elles sont surveillées d'une façon tout à fait excellente — et aussi un peu inquiétant parce qu'il nous dévoile quand même des excès, des excès commerciaux si l'on peut dire, qui risquent de devenir des abus.

Il serait tout à fait intéressant de pouvoir ouvrir une discussion sur ce très beau rapport, mais nous avons l'intention, me dit le Président Debidour, de bloquer toutes les discussions a la fin.

Je vais tout de suite donner la parole à mon Collègue M. le Professeur Morette, de la Faculté de Pharmacie, qui va nous parler du chimisme et du biochimisme des eaux sulfurées, question qu'il connaît parfaitement bien.

CHIMISME ET BIOCHIMISME DES EAUX SULFURÉES

Par André MORETTE

Professeur à la Faculté de Pharmacie de Paris

Je pense que le choix de ce titre, pour le programme que vous avez établi, Monsieur le Président, en vue de cette Journée d'exposés de science fondamentale, est des plus heureux, à titre d'exemple, sur la palette qu'offrent les eaux thermominérales à la thérapeutique et je vous remercie d'avoir bien voulu me confier ce sujet, d'ailleurs bien des fois évoqué, que je vais tâcher de traiter de mon mieux et le plus brièvement possible.

Ainsi que chacun le sait, les eaux sulfurées naturelles, l'un des grands groupes chimiques de la classification des eaux thermominérales, sont utilisées en thérapeutique thermale, dans une trentaine de stations de notre Pays ; leur minéralisation efficace est à base de soufre divalent, soit sous forme de sulfure d'hydrogène ou acide sulfhydrique ou encore hydrogène sulfuré H_2S, soit sous forme d'ions HS^- ou S^{--}. Or le système formé par l'eau, par ces constituants sulfurés et les autres constituants soufrés qui les accompagnent, par les autres sels ou plutôt les autres ions présents, par l'air, c'est-à-dire notamment oxygène et anhydrique carbonique, au contact duquel se trouvent ces eaux naturelles dès leur émergence ou même parfois dans le sous-sol avant l'émergence, est un système physicochimique relevant à la fois des lois régissant les équilibres acido-basiques et de celles régissant les phénomènes d'oxydo-réduction. Mais ce n'est pas tout ; les eaux sulfurées donnent lieu à des développements de bactéries, d'algobactériales et aussi d'algues, c'est-à-dire à des bioglées dont le métabolisme est étroitement lié à la composition minérale des eaux.

C'est dire que l'on a, là, affaire à l'association d'un biotope et d'un milieu réactionnel et nutritif d'un intérêt assez exceptionnel dont je vais m'efforcer de vous résumer les aspects essentiels.

CYCLE CHIMIQUE D'OXYDATION ET DE RÉDUCTION

D'où provient ce soufre ? Précisons ce soufre sulfuré, pour ne pas oublier qu'il est un autre dérivé du soufre universellement présent dans les eaux : c'est l'anion sulfate. Comme disent les chimistes, dans le radical SO_4^{--} du sulfate de sodium, du sulfate de calcium, l'atome de soufre est entièrement complexé du fait qu'il se forme sur la périphérie de celui-ci une couche saturée de 8 électrons grâce à la présence des quatre atomes d'oxygène dont chacun est lié à l'atome central par l'intermédiaire de 2 électrons ; il en résulte le fait capital de la grande stabilité, normalement, de l'ion sulfate.

Par contre, l'acide sulfhydrique, à l'odeur sui generis qu'il n'est pas nécessaire de rappeler, est beaucoup plus réactif. Il n'existe à l'état moléculaire H_2S, gazeux ou dissous, qu'à faible pH : 5,0, par exemple, si l'eau est riche en même temps en acide carbonique. De même que l'acide sulfurique fournit des sulfates, l'acide sulfhydrique fournit des sulfures de sodium, de potassium, de calcium, de magnésium, de fer, etc. Mais en outre, et c'est un caractère dominant, il est sensible à l'action de l'oxygène moléculaire, gazeux ou dissous, qui provoque son oxydation plus ou moins lentement, en fonction de divers facteurs (effet catalytique). L'air atmosphérique suffit :

$$H_2S + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O + S\searrow$$

et du soufre libre apparaît à l'état naissant ou protomorphique, d'où résulte une grande activité physicochimique et biologique ; ce soufre est colloïdal et donne à l'eau un aspect plus ou moins lactescent blanc ou jaunâtre ou bleuté.

Cette oxydation peut se trouver poussée beaucoup plus loin, toujours au contact de l'oxygène, c'est-à-dire au contact de l'air atmosphérique, sans omettre que l'eau est également présente bien entendu :

$$2\,H_2S + \frac{4}{2} O_2 \rightarrow H_2S_2O_3 + H_2O$$

$$H_2S_2O_3 + \frac{2}{2} O_2 + H_2O \rightarrow 2\,H_2SO_3$$

puis finalement :

$$H_2\,SO_3 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2\,SO_4$$

Il existe d'ailleurs des composés intermédiaires, tels que les thionates et polythionates, dont l'existence est liée à l'aptitude du soufre à se polymériser.

Donc l'hydrogène sulfuré est un acide et il est oxydable. Mais nous savons aussi que dans les eaux, il est toujours accompagné de plus ou moins grandes quantités de sulfures ; parlons des sulfures dissous, tels les sulfures alcalins ou alcalino-terreux, car il en est d'insolubles comme le sulfure de fer, amorphe et noir.

Or, il existe un troisième phénomène fondamental : les sulfures alcalins ou alcalino-terreux subissent l'action non seulement dissolvante, mais aussi hydrolysante de l'eau ; ils sont décomposés, hydrolysés, avec formation des hydroxydes correspondants :

$$Na_2\,S + 2H_2O \rightleftharpoons 2\,Na\,OH + H_2S$$

$$Ca\,S + 2H_2O \rightleftharpoons Ca\,(OH)_2 + H_2S$$

Comme ces hydroxydes sont des bases très fortes, il en résulte que l'eau sulfurée est alors très alcaline, c'est-à-dire possède un pH élevé. Inversement, par action de masse, si ce taux d'hydrogène sulfuré augmente, il y a, dans l'autre sens, formation de sulfure. On a là une réaction d'équilibre, dont rend compte la double flèche. C'est ainsi que le pH des eaux sulfurées pyrénéennes dépasse 9 ; on a 9,4 à CAUTERETS ; au-dessus de 11, il n'y a pratiquement plus d'hydrogène sulfuré libre H_2S. A pH faible, l'anion sulfure est supplanté par HS^-, puis par H_2S moléculaire.

Mais, revenons à l'oxydabilité de l'eau sulfurée jusqu'au stade sulfate ; on observe aussi le sens contraire de la succession de ces réactions, c'est-à-dire la réduction du stade sulfate au stade sulfure. Toutefois, si la série oxydative est susceptible de se réaliser de façon purement chimique dans les eaux sulfurées, il n'en est pas de même pour l'évolution réductive, si ce n'est au laboratoire du chimiste ; dans les eaux naturelles, l'intervention des organismes vivants est alors nécessaire et l'on assiste, par exemple, à la transformation du sulfate ou du thiosulfate de calcium en sulfure, voire en soufre comme nous allons le constater de façon plus détaillée un peu plus loin :

$$CaSO_4 + 8H \rightarrow 4H_2\,O + Ca\,S$$

$$Ca\,S_2O_3 + 6H \rightarrow 3H_2O + Ca\,S + S\searrow$$

C'est la cellule vivante qui permet le transport de l'hydrogène, lui-même en provenance de l'eau, sur le dérivé oxygéné du soufre.

BIOCHIMISME OXYDATIF

Or les eaux sulfurées sont en effet, tributaires d'un véritable cycle biologique ; ce cycle n'est d'ailleurs pas sans analogies avec le cycle de l'azote, avec oxydations et réductions.

Ce sont soit des bactéries, soit des algobactéries, organismes faisant le passage entre les premières et les algues vraies, qui sont en cause. L'ensemble prend le nom de sulfo-bactères, celui de bactéries sulfureuses, plus ou moins impropre, étant à éviter. Les algues vraies ne sont pas exclues, d'ailleurs du milieu écologique.

Les algobactéries possèdent une structure rappelant celle des algues unicellulaires et sont, comme ces dernières, essentiellement autotrophes, c'est-à-dire qu'elles sont capables de vivre et de se multiplier en utilisant exclusivement des substances minérales comme aliments, sans apport de matière organique ; ceci n'est possible que grâce à la présence de pigments assimilateurs (chlorophylle, caroténoïdes,) de l'anhydride carbonique sous l'influence de la lumière et de l'eau ou grâce à leur aptitude, sous l'influence d'un équipement enzymatique suffisamment complet, à synthétiser leur propre substance protoplasmique à partir de substances minérales exclusivement. Ce sont donc des organismes très peu exigeants ayant d'ailleurs un grand pouvoir de résistance aux agents physiques et chimiques et qui sont représentatifs des formes vivantes les plus anciennes et les plus rudimentaires. Les espèces rencontrées dans les eaux, que l'on peut énumérer en suivant la classification de Prévot, sont essentiellement d'une part les *Beggiatoa*, les *Thiothrix* et les *Achromatium* et d'autre part les *Thiocystis*.

En outre, de nombreuses bactéries vraies, autotrophes également, président aux mêmes phénomènes oxydants. Ce sont notamment les *Thiobacillus* qui appartiennent aux Protobactériales. A ce chapitre de la microbiologie des eaux s'attache le nom de Winogradsky.

Les *Beggiatoa* et les *Thiothrix* sont filamenteuses, segmentées en articles, mobiles ou immobiles, formant les masses floconneuses ou mucilagineuses blanchâtres que sont les barégines, daxines ou autres glairines ; celles-ci activent l'oxydation de l'hydrogène sulfuré en aerobiose et incorporent à leur cytoplasme le soufre libéré sous forme de granulations ou de globules, la formation de ceux-ci est sous la dépendance du taux d'oxydation et de l'acidité. Les *Thiobacillus*, qui ont la forme de batonnets, libèrent à l'extérieur de leur cytoplasme le soufre formé qui, à son tour, subit plus ou moins énergiquement une oxydation en anions soufrés oxygénés ; il en existe de nombreuses espèces ayant toutes un très grand pouvoir oxydant vis-à-vis de l'azote, du fer, etc...

A côté de ces leucothiobactéries ou leucothioalgobactéries, non pigmentées, étudiées en France par Pochon, s'affairent, dans l'eau sulfurée, les algobactéries pigmentées, pourpres, violacées ou rougeâtres telles que les *Thiocystis*, organismes sphériques ou ovoïdes, qui, elles aussi encapsulées en amas mucilagineux, incorporent du soufre libre dans leur cytoplasme et oxydent celui-ci, de façon plus ou moins poussée, en utilisant l'énergie lumineuse ; elles sont très vivaces et s'accomodent de milieux très riches en sulfures, plus que les *Beggiatoa*.

Ces divers organismes, en résumé, assurent l'oxydation de l'hydrogène sulfuré selon les réactions de la chimie pure déjà décrites, mais avec beaucoup plus d'intensité et de rapidité. Il faut même ajouter que les algobactéries pigmentées font coup double en adjoignant la réduction du dioxyde de carbone CO_2 à la manière des végétaux supérieurs, à l'oxydation de l'hydrogène sulfuré :

$$H_2S + 2\,CO_2 + 2H_2O \rightarrow 2\,[CH_2O] + H_2SO_4$$

où $[CH_2O]$ représente schématiquement les composés carbonés ternaires fabriqués ; la conséquence est la grande agressivité de cette fermentation vis-à-vis des matériaux.

Avec ou sans l'appoint des radiations lumineuses, tous ces organismes utilisent de manière plus ou moins complexe et pas toujours bien connue, mais à l'aide de leurs enzymes, l'énergie des transformations oxydatives ainsi réalisées pour l'édification de leur propre substance vitale et pour la poursuite de leurs processus métaboliques.

Les productions de gelées dont ces algobactéries sont responsables sont constituées à la fois par les éléments figurés et les substances organiques s'apparentant aux pectines que ces derniers élaborent et elles servent aussi de substrat à d'autres espèces microbiennes qui les métabolisent. Ces développements végétaux organiques, étudiés par Dufrenoy sont ce que l'on appelle des *Bioglées* ; lorsque l'eau ou le sol sont ferrugineux, il se forme alors du sulfure de fer et la Bioglée n'est plus incolore ou blanchâtre ou rougeâtre, mais noirâtre.

L'abondance de ces Bioglées dépend de la nature de l'eau de maturation ; accompagnées de matières organiques et minérales, elles sont le plus souvent à la base des péloïdes employés de longue date en thérapeutique thermale, comme va vous en entretenir M. Van Beneden.

BIOCHIMISME RÉDUCTEUR

Mais la microbiologie des eaux sulfurées ne se limite pas à celle des algobactéries ou bactéries autotrophes oxydantes. Comme cela a été dit antérieurement, la formation inverse d'hydrogène sulfuré à partir des sulfates est sous la dépendance de bactéries anaerobies, hétérotrophes ou au moins semi hétérotrophes, universellement répandues, à condition que les facteurs écologiques qui leur conviennent soient réalisés, notamment que l'eau soit abondante et qu'elles trouvent un substrat organique, cellulose, lignine, déchets divers, satisfaisant et qu'elles soient rigoureusement privées d'oxygène.

Ces bactéries sulfato-réductrices se ramènent à un assez petit nombre d'espèces. Ce sont essentiellement les *Sporovibrio* ou encore *Sulfovibrio*, comme on a tendance à les désigner actuellement, et parmi lesquelles principalement le *Desulfovibrio Desulfuricans* et divers *Clostridium* dont *Cl. Nigrificans*, *Cl. Cauteretsensis*, ce dernier isolé par Prévot, qui sont des Eubacteria sporulales, certaines formant des Bioglées assez voisines du *Welchia perfringens* bien connu et qui ont été, en France, étudiées par Senez.

Ce sont des vibrions ou des batonnets portant des spores, lesquelles n'apparaissent parfois que dans certaines conditions. Ils exercent leur action réductrice en fournissant au sulfate de l'hydrogène en provenance des substances constituant le substrat organique qu'ils accompagnent (malate, lactate, etc...).

Il existe, sous leur action, une sorte de fermentation du substrat, avec formation de gaz ; ce sont les gaz spontanés de la source. J'ai eu l'occasion, il y a quelques années de faire l'analyse de ces gaz émis par une source de HAÏTI ; j'y ai trouvé, en outre de l'hydrogène sulfuré, de l'azote en proportion voisine de celle de l'air, du gaz carbonique CO_2, et du méthane CH_4, avec absence complète d'oxygène, ce qui correspond au pouvoir réducteur extrêmement élevé du mécanime en cause.

Ajoutons que nombre de microorganismes, bactéries, champignons et aussi algues, peuvent fournir de l'hydrogène sulfuré à partir de composés du soufre moins oxygénés que les sulfates ou, d'autre part, à partir des matières organiques soufrées, c'est-à-dire surtout des acides aminés soufrés des protéines. C'est ce que l'on appelle la sulfhydrisation.

MÉCANISMES BIOLOGIQUES

D'une façon générale, tant dans la phase oxydative que dans la phase réductrice, les mécanismes biologiques impliqués comportent la nécessité de la présence de nombreux éléments tels que le phosphore, le cation ammonium, le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium, le fer, mais aussi des oligo-éléments tels que le manganèse et probablement le molybdène, élément dont le rôle physiologique a été très étudié dans le cas de la réduction des nitrates par des bactéries voisines.

Le métabolisme cellulaire fait apparaître non seulement sulfites, thiosulfates, thionates, mais aussi met en jeu des acides organiques soufrés dont la cystéine, le glutathion, ainsi que des enzymes, aussi bien chez les algobactériales oxydantes que chez les *sporovibrio*, telles que les cytochromes, des hydrogénases et des déhydrogénases. Bien d'autres composés métaboliques seraient à citer, notamment l'intervention de l'acide adénosine triphosphorique ATP. Les enzymes sont certainement les ouvrières les plus efficaces en tant que transporteurs d'hydrogène et d'électrons dans les phénomènes d'oxydation et de réduction auxquels président tous ces microorganismes dans cette véritable « chimiurgie » du soufre des eaux sulfurées ; on trouve de l'hydrogène libre dans les gaz de cultures au laboratoire des *Desulfovibrio* et des *Clostridium*.

Au surplus il existe des associations symbiotiques ou synergiques entre tous ces travailleurs qui s'entraident plus ou moins mutuellement, par exemple dans les bioglées, sulfobactéries, certaines cyanophycées, voire des infusoires, des rotifères comme l'ont observé Fauré-Frémiet, Laporte.

L'exemple le plus constant est l'apparition de *Beggiatoa* ou de *Thiothrix* dans les eaux sulfatées qui sont l'objet d'une réduction en sulfures par les *Desulfovibrio* et les *Clostridium*.

En somme, les eaux sulfurées sont le siège à la fois d'un chimisme intense et d'une vie microbienne particulière très développée, adaptée à la réactivité et à la mobilité chimiques considérables que possèdent le soufre et ses composés minéraux, et organiques. On a là un ensemble *écologique*, un écosystème très caractéristique, représenté par la bioglée.

On peut dire encore, sans beaucoup d'exagération, qu'il se produit dans ces eaux presqu'autant de faits et d'événements qu'il en existe dans notre propre organisme.

ÉVOLUTION DES EAUX SULFURÉES

Comme la vie, les eaux sulfurées sont fragiles. Dès qu'une quantité est séparée de son gîte normal, elle subit une évolution différente de son évolution naturelle, car les facteurs de son écologie changent. Les phénomènes principaux, à l'air, sont une diminution du taux de l'hydrogène sulfuré en solution du fait de sa tendance à s'échapper dans l'atmosphère, de même que l'anhydride carbonique, si elle en contient aussi ; en outre, elle est soumise à l'oxydation par l'oxygène de l'air, ce qui entraîne l'élévation de son potentiel redox. En flacon bouché, les phénomènes d'anaerobiose, au contraire deviennent prépondérants. C'est pourquoi l'analyse d'une eau sulfurée, plus encore que celle des autres eaux de compositions différentes, nécessite des précautions particulières et principalement la réalisation des déterminations analytiques aussi rapide que possible, sur place, au griffon.

Elles n'ont la composition qui est la leur, tant elle est labile, qu'à l'instant considéré et c'est pourquoi, introduites dans des récipients clos ou non, on constate qu'elles se modifient ; elles subissent un « vieillissement », c'est-à-dire ce que Cazaux appelait la « métaplasie » de l'eau minérale. Leur pouvoir réducteur diminue. Il se forme un dépôt, un floculat, constitué par des sulfures insolubles et des hydroxydes qui ont l'inconvénient d'entraîner une plus ou moins grande quantité des oligoéléments de l'eau initiale. On sait que ces phénomènes ont été étudiés par M. Louis Armand, Mme Blanquet, Lescœur, Cazaux, Canellas.

Au surplus, si elles sont naturellement radioactives à l'émergence, cette radioactivité disparaît peu à peu.

On peut donc souligner ce fait capital que la préparation industrielle des eaux thermominérales sulfurées en vue du service des malades pour l'accomplissement de leur cure, même si l'on estime qu'il n'en reste plus rien à découvrir de leur nature ce qui n'est pas certain, comme on pouvait croire cela possible il y a cent ans, est irréalisable.

EAUX SULFURÉES SODIQUES

Il est bien certain que les eaux thermominérales sulfurées constituent un groupe très personnalisé, parmi les autres, habituellement classés en :

Eaux bicarbonatées alcalines
ou calco-magnésiennes

Eaux sulfurées sodiques ou calciques

Eaux sulfatées

Eaux chlorurées sodiques

Eaux ferrugineuses
Eaux arsénicales

Les exposés géologiques précédents nous ont apporté les indications essentielles sur la genèse des eaux thermominérales en général. Peut-être n'est-il pas inutile de rappeler rapidement quelques particularités concernant les eaux sulfurées dont l'origine peut varier.

Nous pouvons tout d'abord nous arrêter aux eaux sulfurées sodiques. En France tout au moins, ce sont essentiellement les eaux de la chaîne pyrénéenne axiale avec, de l'est vers l'ouest les stations de :

AMÉLIE-LES-BAINS	BARÈGES
LA PRESTE	LUCHON
VERNET-LES-BAINS	SAINT-SAUVEUR
MOLITG	CAUTERETS
THUÈS	ARGELÈS
LES ESCALDES	EAUX-CHAUDES
AX-LES-THERMES	EAUX-BONNES
ESCOULOUBRE	

Il faut cependant ajouter à cette énumération CHALLES, avec la plus forte teneur (0,27 g/l sur 1,35 g/l de minéralisation totale) en soufre sulfuré connue, et MARLIOZ en Savoie, PIETRAPOLA et CALDANICCIA en Corse.

Les eaux sulfurées pyrénéennes qui ont été étudiées par Armand Gautier, Bardet, Lepape, Moureu, Pierre Urbain, Caujolle, Brustier, émergent en altitude ; leur minéralisation totale, généralement, est de l'ordre de 0,30 g/l, elles sont chaudes, avec une température variant de 80° à 32° et même moins, la tendance à la décroissance étant assez nette d'est en ouest, et presque toutes sont radioactives ; les plus radioactives sont les plus froides et les moins sulfurées. Il faut se représenter, schématiquement et en résumé, la chaîne montagneuse comme résultant de la surrection des terrains primaires profonds, laquelle a provoqué un large éclatement longitudinal de la couverture secondaire, ce qui forme deux immenses lèvres externes parallèles à l'axe cristallin, l'une espagnole, l'autre française. L'eau émerge surtout sur le versant nord, à travers de multiples diaclases, par des circuits artésiens profonds dans les granites, gneiss, micas, schistes, de la zone axiale, aux surfaces de séparation des roches granitiques et des schistes.

On estime qu'en profondeur, à très haute température, dépassant 100°, l'eau chaude attaque d'une part les silicates feldspathiques qui la rendent fortement alcaline et riche en soude et en silice ; puis il y a réaction sur des couches pyriteuses, ou même de soufre ou de sulfures rencontrés dans beaucoup de feldspaths, avec dissolution de sulfure de sodium ; ceci rend compte du pH élevé, de la teneur relativement forte en silice, ce qui lui donne une onctuosité bien connue, et de la minéralisation sulfurée : elles contiennent souvent un peu de bicarbonate de sodium, comme à MOLITG et à AMÉLIE.

A LUCHON, on a affaire à des sources à différentes températures, avec des teneurs variables en soufre total de 8 à 40 mg par litre, et une minéralisation totale de 300 à 500 mg ; on y trouve la plus forte radioactivité des stations françaises avec 42 nanocuries par litre dans l'une des émergences les moins chaudes.

Beaucoup de ces sources, notamment à l'ouest du Massif, sont chlorurées et plus ou moins carbonatées, surtout lorsqu'elles sont pauvres en chlorures à l'est, en même temps que sulfurées ou, aussi, renfermant des quantités notables de calcium, à côté du sodium ; cette minéralisation accessoire d'origine plus superficielle implique le mélange des eaux sulfurées sodiques chaudes avec des eaux ayant lessivé des terrains du trias secondaire, toujours très salifère. De la même façon, des eaux, telles que certaines eaux sulfurées alpines, possèdent, une sulfuration d'origine analogue à celle des précédentes, mais avec une minéralisation mixte fortement chlorurée, bicarbonatée. A cette catégorie appartiennent les eaux de ST-HONORÉ-LES-BAINS, dans le Morvan, qui sont par ailleurs fluorurées et légèrement arsenicales.

EAUX SULFURÉES CALCIQUES

Les eaux sulfurées calciques se rencontrent également dans les Pyrénées, à CAMBO, CASTERA-VERDUZAN, EUGÉNIE-LES-BAINS, BARBOTAN, et aussi dans les Alpes et la région sub-alpine, à ALLEVARD, URIAGE, DIGNE, GRÉOUX, CAMOINS, dans les Cévennes aux FUMADES, dans le bassin Parisien à ENGHIEN, enfin en Corse à PUZICHELLO.

Les eaux sulfurées calciques, en principe, ont habituellement une toute autre provenance que les eaux sulfurées sodiques pyrénéennes, elles résultent de la réduction bactérienne anaerobie au niveau des dépôts humiques, tourbeux, bitumineux, d'eaux séléniteuses issues du lessivage de dépôts gypseux triasiques ; le mécanisme est celui qui a été décrit auparavant. Le même processus peut intéresser aussi certaines eaux sulfatées sodiques. Ces eaux sont appelées « eaux sulfurées accidentelles » pour rappeler la nécessité de la coincidence plus ou moins fortuite des facteurs responsables. D'autre part, les eaux sulfurées calciques de formation purement chimique à partir de sulfates métalliques, de même que les eaux sulfurées pyrénéennes, existent aussi parfois.

Enfin, du fait que les calcaires, roches sédimentaires, peuvent ne pas être éloignés des gîtes sulfurés, il arrive que des eaux sulfurés, en provenance d'eaux séléniteuses, traversent des terrains karstiques ; l'eau sulfurée est alors soumise à une aération qui provoque son oxydation de manière plus ou moins poussée, jusqu'à, parfois, faire disparaître une grande partie du soufre sulfuré initial. On a alors affaire à une minéralisation se composant, à côté des sulfures, de thiosulfates, de sulfites, comme à AIX-LES-BAINS ; le soufre initial de cette station est considéré par le géologue Moret comme d'origine pyriteuse, par attaque par l'eau chaude, silicatée et calcaire, d'infiltration,

Nous voyons, ainsi, que les eaux sulfurées mettent à contribution pour leur élaboration interne par la Nature telles que celle-ci les offre au thérapeute, puis au cours de leur évolution externe, un système, assez exceptionnel en Hydrologie, d'actions chimiques et biochimiques. On comprend pourquoi, lorsque l'on songe à l'importance du rôle physiologique du soufre dans l'organisme ainsi qu'à son rôle pharmacothérapique, et pour paraphraser l'adage du Doyen Binet, la Crénothérapie constitue une vieille thérapeutique d'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

BOURRELLY P. — Les sulfobactéries, Revue Algologique, t. 1, n° 1, 3, 4, 1955, (Écologie).
BOURRELLY P. — Journée de la Barégine, J. de Barèges, n° 4, 1932.
CAUJOLLE, CAZAUX P. — Eaux sulfurées. Rev. Pathol. Générale et Physiologie clinique, t. 57, mars 1957.
CAUJOLLE F. — Le Thermalisme sulfuré, Toulouse Médical, t. 58, p. 231, mars 1957.
CAUJOLLE F., DUFRÉNOY J., CAZAUX P., CANELLAS J. et Mme CANELLAS J. — Le Thermalisme sulfuré. Rev. Pathol. Générale et Physiol., t. 57, mars 1957.
CAZAUX P. — Considérations sur les eaux sulfurées. Revue des Docteurs en Pharmacie, t. 44, n° 31, mars 1957.
CAZAUX P., BLANQUET P., CANELLAS J. — Le phénomène de « floculation » des eaux minérales. Ann. Inst. Hydrol. Climatol., t. 23, p. 19, 1952 ; 85e Congrès des Sociétés Savantes, 1960.
DOMMERGUES Y., MANGENOT F. — Écologie Microbienne du sol, Masson et Cie, 1970.
MORETTE A. et Mme BLANQUET L. — Sur la composition des eaux et des gaz spontanés de quelques sources thermominérales de Haïti. C. R. Acad. Sc., t. 245, p. 1556, 1957 ; Ann. Ph. Fr., t. 15, p. 681, 1957.
PRÉVOT A. R. — Traité de Systématique bactérienne, Dunod, 1961.
ZAJIC J. E. — Microbial Biogeochemistry, Academic Press, 1969.

***

LE PRÉSIDENT. — Je remercie le Professeur Morette de son exposé que malheureusement les exigences de l'heure ne nous ont pas permis d'écouter tout à fait dans son entier, mais enfin il nous a donné de précieux renseignements, de précieuses indications ; la discussion viendra après la séance, bien entendu, et je lui cède le fauteuil présidentiel.

Président de séance : M. le Professeur A. MORETTE

LE PRÉSIDENT. — Je donnerai la parole à M. Van Beneden qui va nous parler des matières organiques dans les eaux. Il nous fait le plaisir de venir de Belgique pour cette conférence, et connaît ses études sur les matières chimiques, organiques des eaux et des sols de ce pays d'Ardennes qu'il aime passionnément d'après toutes ses publications.

M. VAN BENEDEN. — Je remercie pour ses paroles très aimables, M. Morette qui vient d'aborder devant vous le très important problème du biochimisme des eaux sulfurées.

---

2 mai - 10 octobre 1971

LUCHON

STATION PILOTE DU THERMALISME

LA MIEUX ÉQUIPÉE ET LA MOINS CHÈRE DES STATIONS THERMALES EUROPÉENNES

80 sources - Eaux polysulfurées, hyperthermales - Eaux radioactives sédatives

---

MOYENS DE CURE :

Aérosols soniques - Humages - Insufflations tubaires - Douches pharyngées - Proetz - Radio-vaporarium sulfuré - Trois piscines thermales - Fangothérapie - Mécanothérapie, etc.

NEZ - GORGE - OREILLES - BRONCHES - RHUMATISMES

LE NOUVEAU RADIO-VAPORARIUM SULFURÉ
EST ENTRÉ EN SERVICE

Renseignements : SYNDICAT D'INITIATIVE, LUCHON - Téléphone : 83

DIVONNE-LES-BAINS

(AIN)

Station de détente ouverte toute l'année

1° INDICATIONS THÉRAPEUTIQUES.

A) Les manifestations anxieuses :

d'étiologie diverse : surmenage, conflits, constitution, frustration affective,
et d'expression différente : soit névrotique (névrose d'angoisse, phobique, obsessionnelle),
soit psychosomatique (asthénie, insomnie, névrose d'organe),
soit dépressive réactionnelle.

B) Les dépressions endogènes à leur période de convalescence.

C) Les états psychotiques à leur sortie de clinique en période de réadaptation.

2° TRAITEMENT.

Il fait appel :
à l'éloignement du milieu,
à la psychothérapie médicale surtout explicative et de soutien,
à l'hydrothérapie de détente assurée par le médecin lui-même et adaptée à chaque malade,
aux méthodes de relaxation dirigée, type training autogène de Schultz,
à la physiothérapie.

3° SITUATION.

Divonne est située sur le versant oriental du Jura à 18 km de Genève. Altitude 500 m. Climat sédatif et tonique.

4° RENSEIGNEMENTS.

ÉTABLISSEMENT THERMAL — TÉLÉPHONE 170-173

REHABILITATION AND PHYSICAL MEDICINE

Important, up-to-date,
and scientifically accurate abstracts of reports from the world's biomedical literature
dealing with Rehabilitation and Physical Medicine
are brought to your desk in this monthly publication.
First published in 1958,
Rehabilitation and Physical Medicine currently contains some 2,750 abstracts each year.

Main chapter headings :

1. GENERAL PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION
2. ANATOMY
3. PHYSIOLOGY
4. KINESIOLOGY
5. BIOMECHANICS, PHYSICS AND ENGINEERING
6. FUNCTION TESTS
7. REHABILITATION OF SOMATIC DISORDERS
8. REHABILITATION OF MENTAL DISORDERS
9. EDUCATION OF THE DISABLED
10. VOCATIONAL REHABILITATION
11. SOCIAL WELFARE, LEGISLATION
12. HOUSING AND HOMEMAKING
13. RECREATION
14. PHYSIOTHERAPY
15. BALNEOLOGY AND CLIMATOTHERAPY
16. OCCUPATIONAL THERAPY
17. ACTIVITIES OF DAILY LIVING
18. PROSTHESIOLOGY

Specimen copies are available on request.

Annual Subscription Rate :

U.S. $ 35.00/£ 14.13.0d. Sterling/Dfl. 126,00

EXCERPTA MEDICA, Herengracht 119-123, Amsterdam, The Netherlands

---

ORDER FORM

Please send this order form to : EXCERPTA MEDICA,
Herengracht 119-123, Amsterdam, The Netherlands

☐ Please enter my subscription to
REHABILITATION AND PHYSICAL MEDICINE
Annual subscription rate : US $ 35.00/£ 14.13. od. Sterling/Dfl. 126,00

☐ Please send me a specimen copy

☐ Cheque enclosed : ..... ☐ Please bill me

Name : .....

Address : .....

.....

LES MATIÈRES ORGANIQUES DANS LES EAUX ET DANS LES AGENTS DE BALNÉOTHÉRAPIE

par G. Van BENEDEN †

Pour expliquer la présence éventuelle de matières organiques dans les eaux d'origine profonde, il faut considérer deux hypothèses :

A) Dans la mesure ou tout ou partie des eaux phréatiques poursuivant leur trajet descendant, contribuent à la formation des eaux minérales (rencontre ou percolation de gîtes de cémentation, de zones salinifères, de gisements divers avec l'appoint d'acide carbonique d'origine juvénile)... les matières organiques acquises par l'eau lors de sa vie de surface, se maintiennent au cours de la minéralisation et du trajet ascendant de l'eau minérale, jusqu'au moment où celle-ci réapparaît à la surface du sol.

Cependant, beaucoup de matières organiques peuvent être adsorbées par des formations géologiques diverses ; elles peuvent aussi réagir avec différents sels pour donner des précipités insolubles.

Mais d'une part, les capacités d'adsorption ne sont pas illimitées ; une fois atteint le degré de saturation de ces échangeurs ou de ces adsorbants, un équilibre s'installe entre les substances qui entrent et celles qui sortent ; l'eau finalement à l'endroit de sa résurgence gardera en solution un ensemble de composés sélectionnés, minéraux et organiques ; d'autre part en profondeur, c'est l'état réducteur qui domine, avec souvent une présence abondante d'acide carbonique et d'acide sulfhydrique ; le cation engagé dans un composé organique dont il a provoqué la précipitation, peut dans ces conditions être remis en solution sous forme de sulfure puis de bicarbonate ; l'anion organique se trouve ainsi de nouveau libéré et peut se redissoudre à son tour.

B) Les eaux minérales au cours de leur trajet descendant ou ascendant peuvent rencontrer des formations fossiles de matières organiques, enfouies à une certaine profondeur ; elles en entraînent une partie en solution ; dans ce cas-ci, ce n'est donc plus au cours de leur vie de surface que ces eaux ont acquis ces composés organiques, mais bien au cours de leur trajet et de leur séjour en profondeur.

Considérant en tout premier lieu, parmi les agents de balnéothérapie, l'eau minérale elle-même, il faut rappeler que les anciens hydrologues se préoccupaient déjà du chimisme de ces solutions curieuses élaborées par la nature, dans des conditions où les lois physiques et chimiques jouent d'une façon que nous devinons à peine et qu'il n'a jamais été possible de reproduire exactement, du moins pour la plupart d'entre elles ; ils avaient remarqué la présence de certains composés organiques, différents des cations et des anions minéraux classiques ; ils avaient mis en évidence et dosé sur l'eau concentrée, après addition de sels de cuivre, des corps qu'ils appelaient corps ulmiques et ils y distinguaient les acides créniques et les acides apocréniques ; il s'agissait bien des acides humiques qu'ils précipitaient par les sels de cuivre (1), acides ou matières humiques dont on parle beaucoup aujourd'hui, car ils intéressent de nombreux domaines, pédologie, carbochimie, hydrologie, limnologie, traitements correcteurs des eaux de surface en vue de leur utilisation alimentaire ou industrielle et enfin l'hydrothérapie et la balnéothérapie sous toutes ses formes.

Ces matières humiques sont des substances ternaires acidoïdes solubles dans les alcalis, libérant des ions H^+ et formant des sels qui ont la propriété de résines d'échange de base ; elles ont une action chélatante sur la plupart des métaux lourds qu'elles complexent et entraînent en solution, de sorte qu'elles furent déjà expérimentées comme détoxicants dans les cas où l'organisme a fixé dans ses tissus un métal toxique ; elles contribuent enfin à la déplétion ionique de l'organisme grâce à leurs facultés, sous leur forme H^+, d'adsorber les sels alcalins et particulièrement les sels sodiques.

Je vous rappelle également que les matières humiques extraites du charbon ou de la tourbe elle-même ont constitué la toute première résine d'échange naturelle utilisée soit sous sa forme originale, soit sous sa forme sulfonée.

On est loin de pouvoir donner une formule de structure de l'acide humique satisfaisante ; la lignine pourrait être l'un des précurseurs de l'acide humique, si abondant dans les tourbières ; certains noyaux et fonctions chimiques de la lignine se retrouvent dans l'acide humique (OH alcoolique, OH phénolique, COOH, CH_3O) ; la présence de noyaux aromatiques est certaine. On peut donc considérer les acides humiques comme des acides aromatiques polyhydroxyés-méthoxy-carboxyliques. Fuchs avait proposé depuis longtemps une formule, considérant une partie centrale (ou élément de base de la lignine constitué d'hexagones accolés) entourée de groupements COOH, OH, et OCH_3, se condensait avec un second puis avec un troisième groupement semblable... pour donner finalement une substance de poids moléculaire et de propriétés très voisines de ceux de l'acide humique (fig. 1).

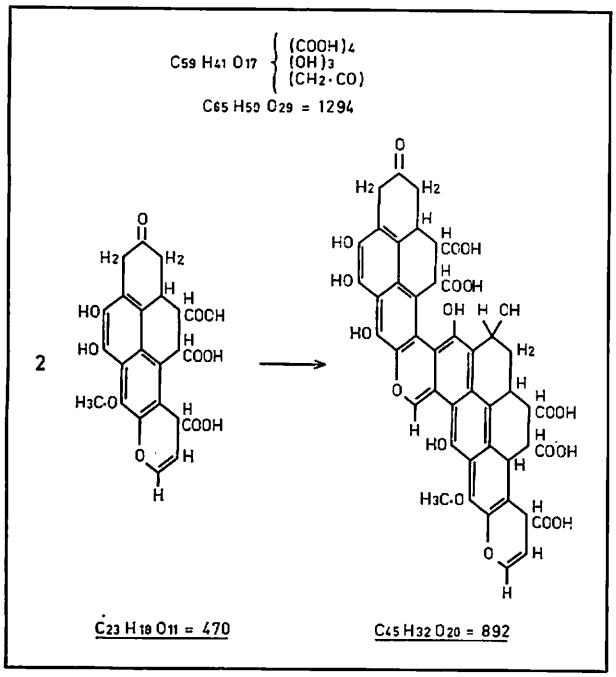


FIG. 1

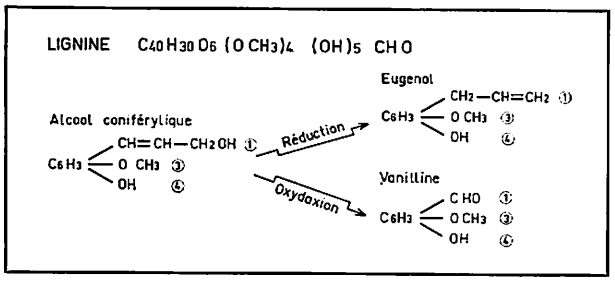


FIG. 2

Dans la lignine (stade final de décomposition des végétaux en aérobiose puis en anaérobiose), on reconnaît l'existence de groupes phényls et méthoxyls et on sait que l'alcool coniférylique en est un des constituants ; la lignine serait pour certains, un précurseur de l'acide humique ; mais on en est encore réduit aux hypothèses quant aux processus chimiques et biochimiques qui président à la transformation de la lignine en acide humique (fig. 2).

Parmi les substances accompagnantes pouvant provenir de la lignine à ses différents stades de dégradation, on a signalé des dérivés isocycliques, tels que l'acide benzoïque, l'acide para-oxy-benzoïque, l'aldéhyde salicyclique, la vanilline, enfin des bitumes, des stérols, des hydrocarbures saturés et non saturés (tableau III).

Par dégradation, sous l'action d'un oxydant, les acides humiques donnent d'une part des acides aliphatiques (formique, acétique, oxalique, succinique, des acides belzolcarboxyliques, des quinones et toute une série de corps aromatiques : catéchol, pyrocatéchine, résorcine, vanilline, acide para-oxybenzoïque, syringaldéhyde et parahydroxybenzaldéhyde.

Le cracking de la lignine soumise à une longue période d'humidification a donné des quinones ; l'oxydation poussée des produits de dégradation de la lignine diméthylée donne en premier lieu, l'α-hydroxybenzoquinone, considéré comme un des précurseurs de l'acide humique (fig. 4).

Il est curieux de constater que cette benzoquinone peut être obtenue par d'autres voies : l'oxydation de l'acide quinique (tétraoxybenzoïque) ou de son voisin disubstitué, l'acide protocatéchique (2-3 dioxybenzoïque).

Ces différents corps de même que l'acide gallique (3.4.5. trioxybenzoïque) ont été trouvés dans les tourbes ; il est remarquable de constater que plusieurs de ces substances ou de leurs combinaisons ont été utilisées en chimiothérapie dans la lutte contre les affections rhumatismales : je vous en rappelle quelques

TABLEAU III

	Produits intermédiaires ou précurseurs →	ACIDES HUMIQUES →	HUMATES
LIGNINE	Acide humolignique	A) insolubles dans eau	→ insolubles dans eau
	Acide hymatomélanique	B) insolubles dans eau	→ solubles dans eau
		C) solubles dans alcool	→ solubles dans eau
	Acide humisique	D) solubles dans eau	→ solubles dans eau

*Produits accompagnants ne donnant pas d'*ACIDES HUMIQUES

Acides fulviques (nog ↓ /HCl)	Bitumes
Acide benzoïque	Stérols
Acide p. oxybenzoïque	Hydrocarbures saturés
Aldéhyde salicylique	Hydrocarbures non saturés
Vanilline	Acides gras non saturés

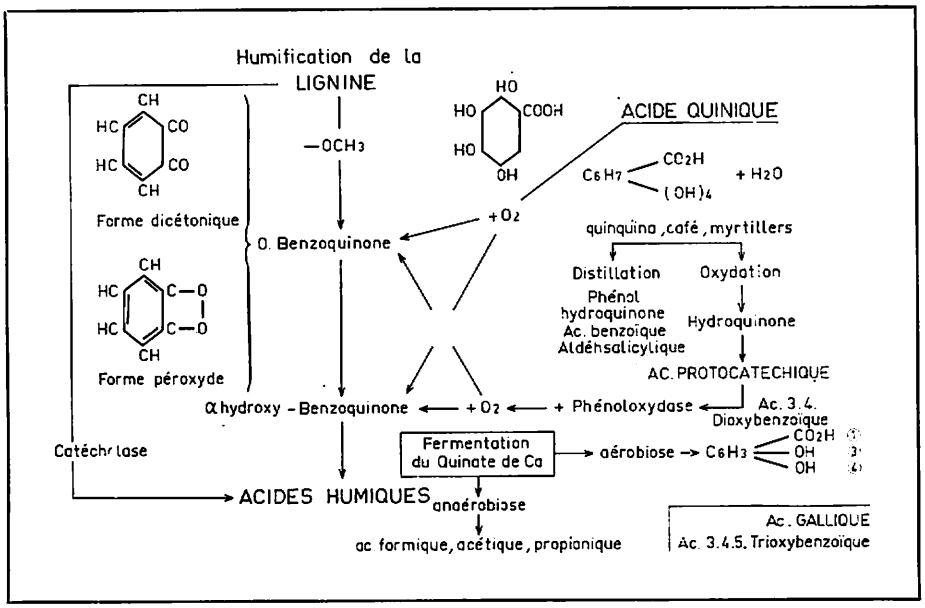


FIG. 4

formules, notamment celles du movirène et de l'acide gentisique (fig. 5).

D'autres auteurs considèrent cependant que les matières humiques ne dérivent pas obligatoirement d'une décomposition biologique ou chimique de la lignine, car *des végétaux tels que les algues, les lichens, les mousses* qui ne possèdent pas de lignine, produisent *aussi des acides humiques.*

Dans les eaux de surface riches en matières humiques, on distingue généralement trois catégories d'aci-

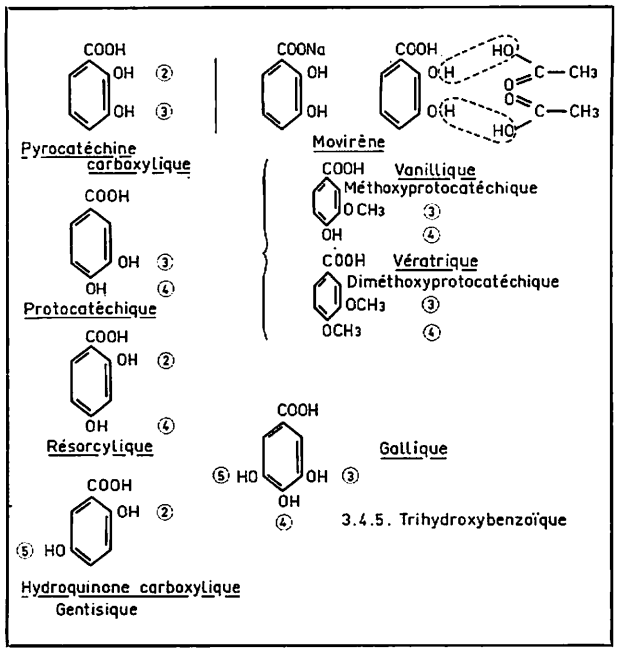


FIG. 5 — *Acides oxybenzoïques et dérivés*

TABLEAU VI

MATIÈRES HUMIQUES

	SOLUBILITÉ			
	Eau	HCl	NaOH	Alcool
Humus coal. (humin-ulmin)	—	—	—	—
ACIDES HUMIQUES.				
Acide humique ppt dit	+	—↓	+	—
Acide hymatomélanique	+	—↓	+	+
Acides fulviques (crénique, apocrénique ??)	+	+	+	+

des humiques : acide humique proprement dit, acide hymatomélanique, acide fulvique (tableau VI).

Les sels de métaux alcalins, Na, K, NH_4 donnent des humates solubles.

Avec les sels alcalino-terreux, les acides humiques forment des combinaisons insolubles à l'état d'humate de Ca, de Ba, de Sr, etc.

Avec les sels de métaux lourds, le métal sous forme d'oxyde ou à l'état d'ion, se laisse complexer, grâce aux propriétés complexantes et chélatantes de l'acide humique.

Ainsi, les eaux riches en matières humiques (eaux de tourbière), laissées en contact avec le plomb, par exemple, (5 mg/litre = teinte jaune) en entraîne en solution des quantités très importantes, ce qui a donné lieu à plusieurs accidents de saturnisme.

Mais le cas le plus curieux et le mieux connu de complexion, sur le plan analytique, est bien celui du

fer (métal, oxyde ou sel) ; si on tente de faire *floculer le fer par alcalinisation*, cette précipitation devient impossible en présence d'acides humiques ; en effet, les humates formés complexent l'hydrate de fer aussi bien que le fer métal lui-même et le maintiennent en solution comme le feraient certains acides organiques, citrique ou tartrique par exemple.

Le fer se trouve partout dans la nature ; toute eau riche en matières humiques contient aussi des traces de fer : il ne s'agit pas d'un fer ionisé ou salifié sous forme d'un sel ordinaire (Cl^-, SO_4^{--}, HCO_3^-) mais bien d'un fer dissimulé ou complexe. Pour le mettre en évidence par une de ses réactions spécifiques, il faut le décomplexer au préalable en traitant l'eau par un oxydant qui attaquera et *dégradera la molécule humique* elle-même ; ou bien, il faut simplement évaporer l'eau et calciner le résidu sec, sur lequel on le mettra en évidence.

D'autre part, si on précipite les matières humiques par un acide, le fer reste engagé dans le précipité ; le fer accompagnant toujours les matières humiques dont les molécules sont restées intactes, qu'elles soient à l'état de sol ou à l'état de floc (fig. 7, 8 et 9).

Les solutions de matières humiques avec leur fer dissimulé sont limpides ; elles ne donnent pas l'image d'une solution colloïdale, bien au contraire ; nous dirons plutôt qu'elles sont à l'état pseudocolloïdal, car ces solutions bien limpides abandonnent un part importante de leurs éléments, si on les filtre à travers des membranes en acétate de cellulose à pore d'un diamètre de 0,45 u ; ne se retrouvent dans le filtrat que très peu du fer initial et des acides organiques non colorés, à molécules plus simples et plus petites, dérivés dégradés des acides humiques proprement dits : les acides fulviques.

Voici deux autres propriétés curieuses des matières humiques :

Les argiles riches en ocre dispersées et brassées dans une solution de matières humiques, les adsorbent et la solution décantée apparaît complètement décolorée et privée de ses constituants organiques et minéraux ; si par contre les matières humiques dans cette expérience sont en excès par rapport à l'argile, l'inverse se produit : l'argile se trouve dispersée, peptisée en quelque sorte et ne sédimente plus.

L'adage bien connu des pédologues :

« L'argile adsorbe l'humus et l'humus dissout l'argile »,

se vérifie donc aussi quand ces deux éléments se trouvent en phase liquide.

Les matières humiques possèdent également un pouvoir mouillant et détergent qui a d'ailleurs trouvé une application dans certaines régions disposant d'eaux humifères pour le lavage des laines par exemple.

Elles abaissent la tension superficielle et forment des écumes persistantes pour peu qu'on brasse et qu'on agite les eaux qui les contiennent ; il s'agit ici d'un phénomène curieux, formant des écumes naturelles, pourrait-on dire, par opposition à ces mousses

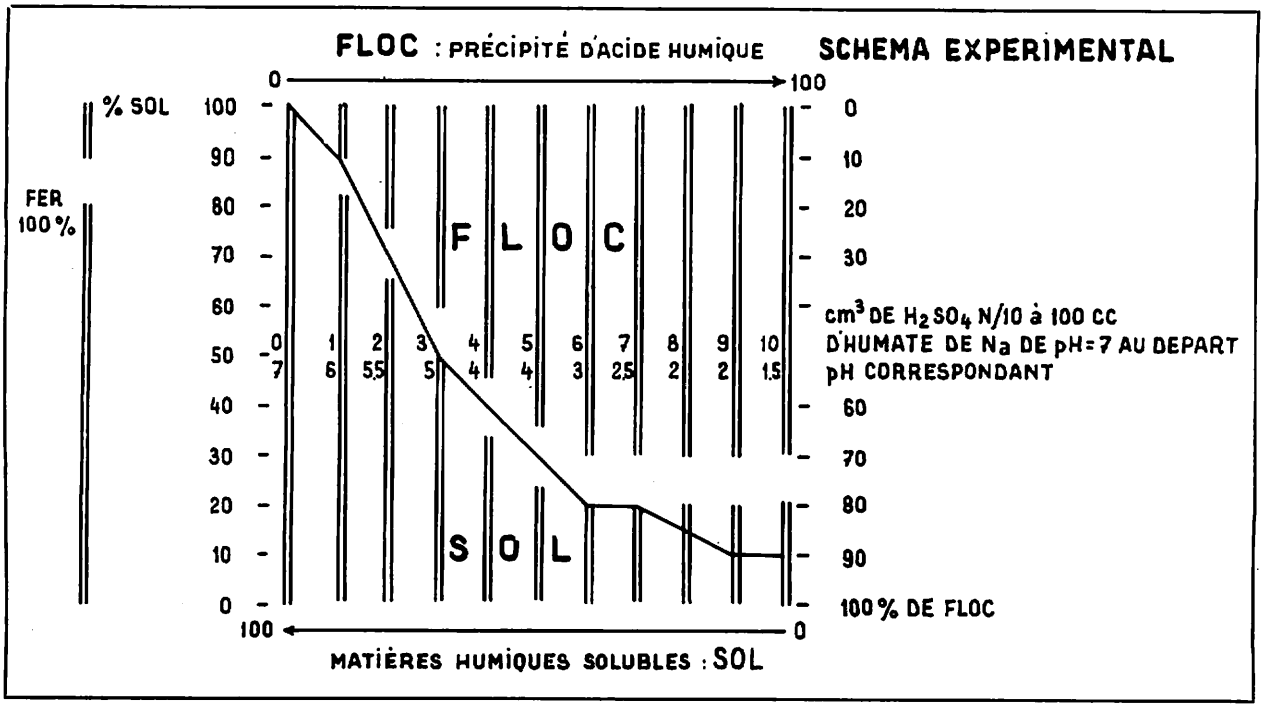


FIG. 7

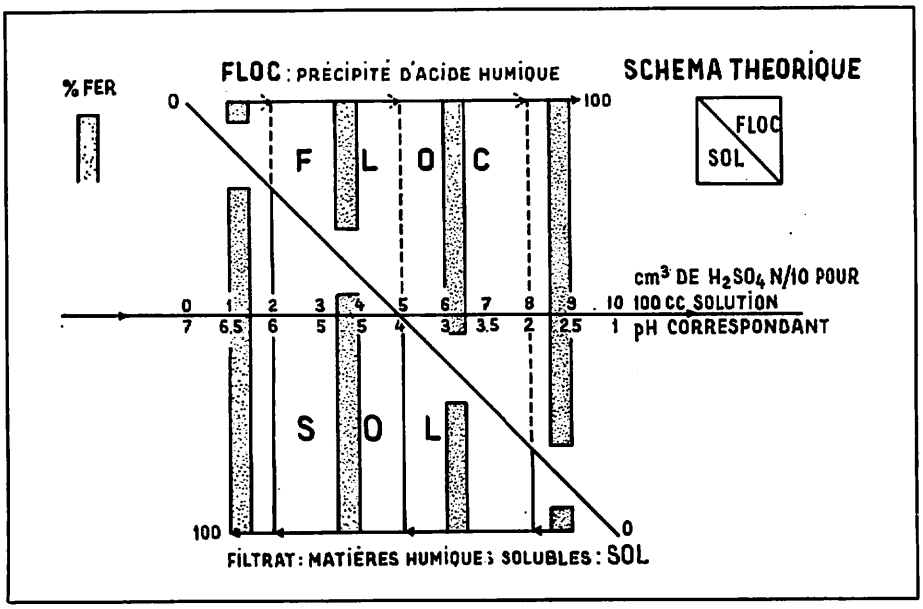


FIG. 8

envahissantes observées aujourd'hui sur nos rivières et nos fleuves, dues au rejet de détergents synthétiques.

Cette propriété mouillante et tensioactive se marque très bien sur les eaux de tourbière, dans des endroits rigoureusement à l'abri des pollutions domestiques ou industrielles ; le vent soufflant sur plan d'eau, sans

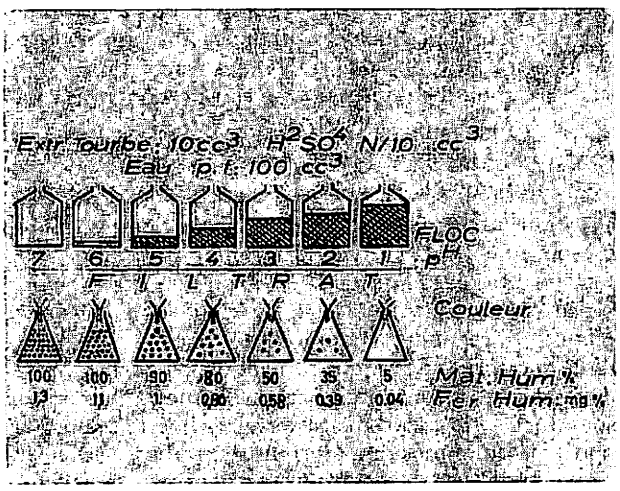


FIG. 9

qu'il y ait la moindre dispersion mécanique de particules liquides dans l'air environnant, forme et enlève des buées qui transportent au loin les exhalaisons et les odeurs si caractéristiques de la tourbe.

MÉTHODES POUR LA MISE EN ÉVIDENCE ET LE DOSAGE DES MATIERES HUMIQUES DANS LES EAUX

On peut faire appel à une des méthodes classiques dont je vous ai rappelé succinctement les principes dans mon introduction, en travaillant notamment sur des concentrats préalables, obtenus soit par évaporation à basse température ou par le froid, soit par adsorption sur divers adsorbants tels que Fe_2O_3, Al_2O_3, MgO, $CaCO_3$, charbon actif, ou résines anioniques, etc., à partir de ces concentrats remis en solution, on peut séparer différentes fractions du groupe des matières humiques par *électrophorèse* ou par chromatographie sur couche mince ; on peut aussi déterminer les spectres d'absorption en U.V. et I.R. (fig. 10).

Si les teneurs en matières humiques sont élevées (5-10 mg °/°°) on utilise des méthodes directes telles que mesure de la teinte, titration par la baryte en tenant compte des interférences dues aux anions CO_3 et SO_4, oxydabilité par le permanganate, mesure des groupes phénols par une diazoréaction (paranitraline diazotée), mesure de l'action réductrice sur des sels ferriques. Pour les mesures de routine, deux techniques sont particulièrement recommandables même pour des teneurs faibles : la technique de Klapper modifiée par Obenaus avant et après passage de l'eau sur une résine anionique faiblement basique ; une autre technique originale consistant à répartir dans un litre d'eau, du MgO que l'on brasse énergiquement au moyen d'un mixer ; le précipité après sédimentation spontanée adsorbe les matières humiques ; séparé du liquide surnageant, le MgO est récolté en vue d'une diazoréaction d'où l'on extrait la teinte par un solvant ;

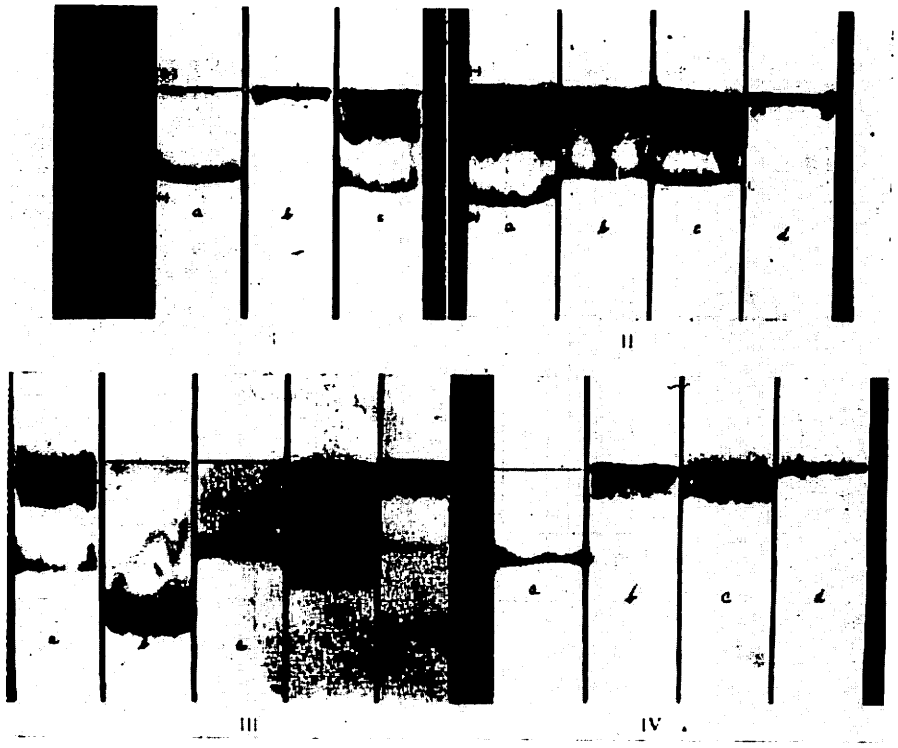


FIG. 10

celle-ci est comparée à une courbe réalisée dans les mêmes conditions.

Sur une même portion de MgO, on peut procéder à l'adsorption des matières humiques de plusieurs litres d'eau successifs.

LA MISE EN ÉVIDENCE DES MATIÈRES HUMIQUES DANS LES EAUX DOUCES.

Les méthodes citées permettent aisément de doser les matières humiques dans les eaux de surface : eau de ruissellement sur des terrains humifères, tourbeux ou marécageux dont les couvertures végétales en surface ou immergées sont en voie de dégradation plus ou moins poussée pour atteindre le stade d'humification ; dans les eaux en contact, on trouve à l'état dissous des matières humiques proprement dites et des matières végétales non humifiées (cellulose, hemicellulose, polysaccharides, etc.) ; mais les matières humiques se retrouvent aussi dans les eaux de rivières, de canaux et de lacs (hypolimnion) qu'elles soient directement tributaires ou non quant à leur origine, d'eaux de tourbières ou de marécages.

LA MISE EN ÉVIDENCE DES MATIÈRES HUMIQUES DANS LES EAUX MINÉRALES.

Dans la plupart des eaux minérales, les matières humiques sont très rares et lorsque l'on en détecte parfois des traces, elles demeurent pratiquement indosables, si ce n'est qu'en concentrant des volumes considérables ; dans les eaux très chargées en éléments minéraux et plus particulièrement en sels calciques et magnésiques, on peut dire qu'elles n'existent pas ; c'est compréhensible puisque ces éléments alcalino-terreux fixent les acides humiques qui auraient pu être entraînés lors du trajet des eaux descendant vers la profondeur jusqu'au niveau de minéralisation.

Les eaux sulfureuses vraies (Na_2S) peuvent en contenir ; les eaux sulfureuses dégénérées ($CaSO_4 \rightarrow CaS$) n'en contiennent pas.

Quant aux eaux ferrugineuses, chaque cas est un cas d'espèce en relation avec la forme anionique des sels ferreux présents, l'origine géologique de l'eau, la présence éventuelle d'acide sulfhydrique dans la partie passive d'une nappe aquifère et d'acide carbonique d'origine profonde ; grâce à l'action réductrice, le fer de la roche ou de l'argile entre aisément en solution sous forme de bicarbonate ferreux, libérant ainsi les matières humiques qui s'y trouvaient adsorbées et qui peuvent, dans ces conditions se peptiser et se redissoudre, mais seulement à l'état de traces, la plupart du temps.

Si les matières humiques demeurent dans les eaux minérales pratiquement indécelables pour les unes ou indosables pour les autres par nos techniques, on ne peut affirmer qu'elles en soient totalement démunies ; en effet, si on traite les dépôts abandonnés par les eaux aux griffons, dépôts résultant des réactions

du premier contact de l'oxygène de l'air avec ces solutions souvent instables, on en met toujours en évidence ; il faut bien admettre que ces matières humiques viennent de l'eau, ces dépôts exclusivement minéraux à l'origine, constituant des écrans de fixation et d'enrichissement des matières humiques, comme ils le sont également vis-à-vis de la radioactivité.

Les matières humiques dans les bioglées.

Nous venons d'évoquer les dépôts aux griffons des sources, prélevés à des endroits où ils n'ont pas encore été touchés et envahis par des organismes extérieurs : flore autotrophe, débris végétaux, algues, plancton, conferves, etc.

Envahis par ces éléments (dont certains peuvent parfois préexister dans l'eau elle-même au moment de sa résurgence), ces dépôts deviennent organo-minéraux, prennent une *consistance mucilagineuse*, un *aspect vitreux* ou opaque selon les cas ; le nom générique de bioglées a été proposé par nous en 1949, lors de la conférence de Dax de la Société internationale d'hydrologie médicale (I.S.M.H.) pour désigner ces formations connues jusqu'alors par des termes tels que zooglée, glairine, gléine, etc. ou par des noms spécifiques à chaque station : Barégine, Aixine, Daxine, etc.

Dans ces bioglées, on met fréquemment en évidence les matières humiques ; celles-ci ont pour origine des éléments du protoplasme ou des membranes cellulosiques des organismes végétaux bactériens ou des protistes, présents dans ces dépôts ; on identifie facilement les dérivés cellulosiques (réaction de l'anthrone positive) et les polysaccharides (réaction de l'acide uronique fortement positive) ; on y met en évidence des vitamines, des enzymes, des hormones, voire même des antibiotiques ; mais tout cela relève d'épiphénomènes, secondaires donc à l'existence même de l'eau minérale et aux composants minéraux et peut-être organiques qu'elle pouvait tenir avant son émergence, tout au moins dans la conception que nous pouvons nous faire actuellement de ce que Bardet appelait déjà il y a un siècle :

« L'indéterminé des eaux minérales » ; par cette expression, il tentait d'expliquer et de justifier les observations des hydrologues et des médecins thermaux concernant la plus grande efficacité des cures thermales et des cures de boisson, quand les eaux sont *prises directement aux griffons*.

La découverte de la radioactivité des eaux, quelques années plus tard, lui avait déjà donné raison ; cette radioactivité des sources, trouvée par hasard, ne constitue de cet « Indéterminé » qu'un élément parmi beaucoup d'autres ; l'inventaire en est à peine entamé ; la finesse des techniques modernes d'analyse autorise les plus grands espoirs dans la recherche des composants dont on ne soupçonnait pas l'existence auparavant ; aujourd'hui que l'on peut mettre en évidence et identifier des quantités de substances de l'ordre du picogramme (1.10^{-2} g, soit 0,000 000 000 001 g, soit 1 millionième de microgramme).

Mais épiphénomènes ou non, ces bioglées font partie aujourd'hui de l'arsenal thérapeutique thermal, puisqu'on les cultive même à dessein pour en enrichir les péloïdes dont elles constituent l'élément noble. (Dax, Aix-les-Bains, Monte-Catini, Sirmione, etc.) ; vitaliser les péloïdes est une pratique courante aujourd'hui surtout dans les stations utilisant des fanghos inertes par eux-mêmes qui sont des argiles et des silicates de mauvaise conductibilité thermique et utilisée pour leur action calorique.

Il est des sceptiques et parmi eux bien sûr, des médecins qui ne manqueront pas d'évoquer à ce propos, l'histoire du pâté d'alouette ; ceux-là réservent habituellement leurs faveurs à la chimiothérapie traditionnelle où, il faut bien le rappeler, les frontières entre l'innocuité, l'action pharmacodynamique et la toxicité sont si difficiles à tracer, on peut même dire qu'elles sont trop aisées à dépasser ; on s'est rendu compte finalement de l'existence d'une pathologie particulière : la pathologie du médicament.

Pour s'opposer à ces détracteurs, on doit invoquer le fait que la méconnaissance de la composition exacte d'une substance ou de sa dose active pondéralement parlant, ne peut nous permettre d'en nier les effets.

Certaines constatations récentes dans le domaine de l'immunologie ou même directement dans le domaine des eaux thermales et des agents utilisés en balnéothérapie, méritent d'être rapportées.

Faut-il donc admettre que c'est *à la présence d'algues* et de *bactéries* de tous les produits élaborés par elles, qu'est liée la valeur thérapeutique de certains péloïdes, en plus de leurs actions physiques auxquelles on fait appel en tant que médications externes ? Incontestablement, cela demeure un point d'interrogation ; sans nier a priori cette action, tâchons de nous éclairer.

Beaucoup d'auteurs sont d'accord pour souligner l'importance de la maturation du péloïde au cours de laquelle une succession de végétations algales et bactériennes confère à la masse visqueuse, des propriétés chimiques et physiques particulières.

Cette explication a été proposée notamment pour la bioglée de Dax ou « Daxine » par Laporte, Laurent et Kayser (1). Cette bioglée confère-t-elle au péloïde une action thérapeutique, qui dans ce cas-ci, dépendrait avant tout des produits élaborés par les cyanophycènes, algues se développant en abondance dans ce type d'eau thermale ? Si on n'en a pas la preuve formelle vis-à-vis du patient soumis à de telles cures, et s'il est difficile de faire la part qui revient à l'action calorique pure et simple d'une part et à une action pharmacodynamique des produits élaborés par les micro-organismes d'autre part..., il n'en reste pas moins que ces produits existent et qu'ils sont présents dans le péloïde ainsi annobli et enrichi ; les collections algales ayant servi aux recherches des auteurs, leur ont permis de démontrer que si les algues trouvaient

dans le milieu ambiant, les éléments plastiques nécessaires à leur métabolisme, elles cédaient également au milieu les substances extracellulaires qu'elles élaborent ainsi que les produits de lyse.

Lefèvre, Laporte et Flandre cultivant une cyanophycée « Thermale » (Phormidium) n'ont pu mettre en évidence des propriétés antibactériennes à partir des extraits de jus de culture ; par contre, ceux-ci exerçaient une action stimulante sur la multiplication cellulaire ; cette stimulation était opérante non seulement dans les cultures des cellules végétales, comme les chlorophycées unicellulaires (Desmidiées) ou cénobiales (Protoccales) ; mais aussi fait beaucoup plus important, dans la culture des cellules et des tissus animaux. Ils ont pu mettre en évidence la présence de substances à activité antiinflammatoire favorisant la cicatrisation des plaies torpides et la formation du granulome expérimental, actions habituellement freinées par les corticoïdes.

Bene et Alii (3) ont mis en évidence dans un échantillon de boue thermale de Luxeuil, tous les groupes fonctionnels telluriques à l'exception des cellulolytiques aérobies et des sulfatoréducteurs. Nous-mêmes avons pu mettre en évidence la présence de bactéries réductrices de sulfates (type Vibriodésulfiricans) dans la plupart des eaux ferrugineuses carbogazeuses de l'Ardenne ainsi que dans les horizons inférieurs des tourbières.

Prévost (4) de l'Institut Pasteur, extrait d'un jus de culture de Corynebactérium anaérobie, une substance stimulant le système réticulo-endothélial et les processus de défense.

Lefèvre (5) signale que des algues d'eau douce exercent des propriétés antibactériennes, que d'autres manifestent des phénomènes d'autoantagonisme (substances élaborées par une flore déterminée inhibant à partir d'une certaine concentration, le développement de cette flore), d'autres enfin, des phénomènes d'hétéroantagonisme (substances sécrétées par une flore déterminée inhibant le développement d'une autre flore).

Si des propriétés antibiotiques sont ainsi élaborées freinant le développement de certaines espèces, ou assurant des mutations ou des formes de végétation déformées chez d'autres, si par contre des phénomènes de stimulation vis-à-vis de toute une succession d'espèces sont les phénomènes les plus fréquents, on comprend la luxuriance de certaines bioglées aux griffons des eaux minérales.

On sait d'autre part qu'il existe une similitude complète entre le comportement des bactéries, des champignons inférieurs et des algues dans le domaine de la production des substances biologiquement activée.

Or les tourbes et notamment les tourbes de Spa sont particulièrement riches en actinomycètes. S'il est fait mention depuis la plus haute antiquité, de la récolte de certaines eaux en vue de la guérison de plaies torpides, il est bon de rappeler que des effets similaires furent constatés avec les tourbes de Spa à maintes reprises ; le traitement des blessures de guerre et des membres amputés se manifestait par une action décongestionnante, une atténuation des douleurs et surtout par une accentuation marquée de la vitesse de cicatrisation des plaies.

La présence de vitamines a été signalée dans les bioglées et les formations du massif cambrien ardennais (6) ; des substances à activité œstrogénique furent mises en évidence dans les tourbes de Spa (7) comme elles le furent ensuite dans des formations similaires en Allemagne, Pologne, Tchécoslovaquie, Roumanie, Autriche, U.R.S.S., etc.

Höseman (8) démontre que ces substances étaient résorbables par les patients dans les conditions habituelles des traitements, fait confirmé par les uns, infirmés par les autres, parmi les auteurs qui se sont préoccupés de cette question.

Les péloïdes présentent d'infinies variétés de formes et de préparations qu'ils soient constitués par des bioglées à l'état « pur » ou par des formations organogènes ou minérales enrichies artificiellement ou naturellement par des bioglées. Les composés organiques contenus dans l'eau minérale ne cesseront de retenir l'attention des hydrologues et des thermalistes que l'eau fasse l'objet d'une cure de boisson, d'une cure de bains, ou qu'elle intervienne dans l'imprégnation et la préparation du péloïde.

Au cours de la maturation du péloïde, de nouvelles substances minérales et organiques seront élaborées, solubles dans l'eau pour la plupart, intervenant dans la phase aqueuse d'un bain de boue et pouvant exercer par elles-mêmes, une action thérapeutique dans la mesure de leur résorption au niveau de l'épiderme.

En ce qui concerne la maturation des péloïdes, rappelons une constatation importante de Laporte (1) : ceux-ci ont remarqué à propos de l'évolution du péloïde de Dax, que les phénomènes biologiques (ammonification, nitritation, nitratation, sulfatoréduction, minéralisation du soufre organique) étaient les plus intenses au niveau de la couche superficielle et au voisinage immédiat de celle-ci ; ceci montre bien l'importance de l'oxydation et de la pénétration de l'oxygène de l'air au cours du stockage des péloïdes ; ceux-ci évolueront d'autant mieux et deviendront d'autant plus actifs biologiquement et thérapeutiquement, que l'accès de l'air aura été rendu plus aisé dans toute l'épaisseur de la masse.

Mais cette remarque a aussi toute son importance pour comprendre comment les substances organiques biologiquement actives, peuvent être entraînées dans les eaux lors de leur percolation à travers les premiers horizons pédologiques (tourbeux dans nos régions) qui plus que tous autres, apporteront à l'eau des caractères et des composés spécifiques dont l'inventaire est à peine commencé.

Citons encore les travaux de Cazaux, de Cazaux et

Canelas (9), de Dufresnoy, Molinery (10), de Laporte (11), de de Traverse, Coquelet, Lagrange (12), de Dubarry et Alii (13) qui tous se consacrèrent à l'étude biologique des péloïdes, au cours de leur maturation.

Après ces quelques incursions dans les arcanes de l'Indéterminé des Eaux Minérales et des Péloïdes, combien vaines apparaîtront certaines discussions relatives notamment à la codification des eaux minérales.

Certains voudraient encore faire dépendre la qualification d'une eau minérale, d'un minimum de sels minéraux dissous (ou de gaz naturel dissous) ; 1 g/litre selon les uns, 2 g/litre selon les autres ou 250 mg de CO_2 libre.

Ainsi des eaux de même origine géologique, de même composition chimique minérale qui ne contiendraient que 0,95 g ou que 1,95 g de sels par litre, ne pourraient prétendre aux mêmes actions thérapeutiques, nonobstant le fait qu'elles contiennent parfois d'autres substances, des composés organiques par exemple qui, même à l'état de traces, peuvent présenter dans certains cas, un intérêt thérapeutique aussi marqué que des concentrations salines élevées de sels minéraux, banals pour la plupart.

Ces faits sont restés jusqu'à présent, méconnus de beaucoup et de ceux-là même qui voudraient répertorier et codifier les eaux minérales, un peu comme si une activité biologique, une action thérapeutique s'appréciaient toujours au poids !

Si parmi les méthodes d'investigation usitées dans l'analyse des eaux, l'examen chimique classique ainsi que l'examen bactériologique, revendiquent à juste titre la priorité en tant qu'établissement de l'état civil, d'une carte d'identité de l'eau en cause brossée, je dirai, à larges traits dans un but de classification on aurait tort de négliger une analyse chimique et aussi bactériologique plus poussée ; la détermination des éléments habituels, les classiques anions et cations, que l'on aligne suivant un ordre immuable, ne nous éclaire pas tellement en général sur l'effet thérapeutique que peuvent avoir ces solutions salines quelle que puisse être leur concentration ; c'est peut-être à tort que l'on se soucie fort peu d'autres éléments parce qu'ils s'y trouvent en quantités soi-disant négligeables et naguère indosables : en ce qui concerne les éléments minéraux, faut-il rappeler l'*intérêt thérapeutique attaché* aujourd'hui *au fluor*, à *l'iode*, à l'arsenic, au bore, au molybdène, au cuivre, au manganèse, rencontrés à l'état de traces : pourquoi n'en serait-il pas de même pour les éléments organiques que nous devons englober au même titre que les différentes sources de radioactivité, dans « l'indéterminé des eaux minérales ».

Nous savons que l'épithète d' « eau minérale » est impropre ; mais elle est consacrée par l'usage ; ce n'est pas à la lettre mais bien à l'esprit de ce terme qu'il faut répondre ; chacun conviendra que l'esprit de cette expression évoque avant tout l'idée d'une action thérapeutique.

Dès lors, il n'est pas tellement difficile de trouver des définitions convenables : voici quelques propositions dans ce sens.

1. « Une eau minérale est l'eau de source naturelle dont l'usage provoque avec certitude sur l'organisme humain des modifications qui peuvent être utilisées favorablement » (Bardet).

2. « Une eau minérale est une eau qui se distingue qualitativement ou quantitativement des eaux communes, par sa composition globale ou/et par la présence d'un ou plusieurs éléments singuliers, pour autant que cette composition ou ces éléments singuliers trouvent une application en médecine thermale, en médecine chimique ou en diététique. Il appartient aux médecins thermalistes, aux pharmacologistes, aux pharmacodynamistes et aux diététiciens d'en fixer les modalités d'utilisation » (G. Van Beneden).

3. Enfin, voici une troisième définition, plus précise dans les termes ; elle prévoit les bénéfices thérapeutiques des usages internes comme ceux des usages externes ; de même que la deuxième définition, elle ne fait pas dépendre la qualification d'un poids ou d'une valeur quelconque de composés définis et elle n'exclut pas, a priori, toute eau dont l'analyse tant physicochimique que biologique démontrerait l'existence de substances actives par ses effets biologiques ou thérapeutiques même si ces substances restent encore pour un temps, non identifiées et chimiquement indéterminées.

A) « Une eau est dite minérale si en ingestion, outre ses propriétés générales de réhydratation, elle exerce sur l'organisme humain des effets pharmacodynamiques spécifiques qui entraînent, au moins chez certains individus, une amélioration de leur état de santé. Ces effets peuvent dépendre aussi bien de la pauvreté excessive en principes dissous que de la présence d'un élément singulier ou de plusieurs éléments particuliers agissant seuls ou en interdépendance et quelles qu'en soient les doses. Seule la valeur thérapeutique de ces eaux peut justifier d'en proposer le classement.

B) Une eau minérale sera considérée comme moyen thermal si, en applications externes, elle accuse des propriétés pharmacodynamiques spécifiques » (J. Lecomte).

Je vous ai très succinctement brossé un tableau de tous les problèmes posés par les matières organiques dans les agents de balnéothérapie.

Les recherches auxquelles je viens de faire allusion, laissent entrevoir le travail considérable qu'il reste encore à développer dans ce domaine ; l'hydrologie thermale n'est pas une science fossile, croyez-le bien.

Voilà qui ne manquera pas de réjouir les tenants du thermalisme vrai ; en faisant augurer de nouvelles recherches et de nouvelles découvertes, les études préliminaires que je viens de rappeler, pour ne citer que celles-là, car il en est beaucoup d'autres, dont l'ensemble représente une bibliographie importante...

ces études, dis-je, constituent déjà une réponse remarquable à l'appel formulé en 1963 par Debray, Desprez et Flurin ; en transposant leurs paroles d'un point de vue strictement français en un point de vue plus général, on peut dire avec eux :

— « Une des causes majeures du malaise du thermalisme semble être un *certain degré d'empirisme* qui règne encore dans la crénothérapie. La recherche hydrologique s'impose donc partout pour un nouvel élan et pour donner des tests objectifs au thermalisme ; cette rénovation prend corps et existe dans de nombreux pays européens, dont la France bien sûr ; hélas, il faut déplorer sans cesse l'insuffisance des crédits consacrés à la recherche thermale, la dispersion des centres et leur absence de coordination... ».

BIBLIOGRAPHIE

1. LAPORTE G., LAURENT M., KAISER P. — Biologie du Péloïde de Dax et de l'eau associée. Annales-Inst. Pasteur, oct. 1965. T. 109, p. 563-593.
2. LEFEVRE M., LAPORTE G., FLANDRE O. — La cicatrisation. Colloques internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique, n° 145, Gif-sur-Yvette, 11-12, mai 1964.
3. BENE, LAMARQUE, GIRARD, BALDO. — Bull. Ass. Dipl. Microb. Fac. Pharm. Nancy, 1962, n° 88.
4. PRÉVOST. — Recherches des anaérobies en cours de la pratique courante de laboratoire - Corgnes bactérioses anaérobies.
Les Journées de Biologie Clinique, Institut Pasteur, Paris, février 1964.
5. LEFEVRE. — Extracellulard Products of Algae. Algae and Man, NATO Institute, July-august 1962, Louisville, Kentucky. Edit. Syracuse University.
6. G. VAN BENEDEN. — Présence de vitamines dans les boues végéto-minérales et les masses planctoniques du massif cambrien de la Haute Ardenne.
Bulletin du Cebedeau n° 4, 1949. Optes. R. IVe Conférence Scientifique Dax 1949.
7. R. VIVARIO R., VAN BENEDEN G., HEUSCHEM C. — L'activité œstrogénique des péloïdes dans la thérapeutique anti-rhumatismale par cures thermales. Congrès I.S.-M.H. Vichy, Paris, 1954.
La Revue de pathologie générale et comparée, n° 661, octobre 1954.
8. HOSEMAN. — 1) Colloque « Moor in der Gynäkologie ». IVe International Kongretz für Universelle Moorforschung I.G.M. Spa, juin 1958.
2) Hormonale Faktoren in Moor. IVe Congrès I.G.M., Lindau, 1956.
9. CAZAUX P. — Les Péloïdes. Revue des Docteurs en Pharmacie de France, 1er juillet 1953, n° 19.
Faculté de Pharmacie, 4, avenue de l'Observatoire, Paris.
CAZAUX P., CANELLAS J. — Maturation biologique des péloïdes et potentiel d'oxydo-réduction.
Travaux des laboratoires de Botanique et de Cryptoamige, 1956, Université de Bordeaux.
10. DUFRESNOY et MOLINÉRY. — Le Métabolisme du Soufre. Les transformations biochimiques des composés sulfurés des Eaux de Luchon et de Barèges. Annales Inst. d'Hydrologie et de Climatologie, 1924, p. 67-241.
11. LAPORTE G. — Contribution à l'étude d'une boue médicinale : le péloïde de Dax. Thèse de doctorat, Faculté de pharmacie, Paris, n° 426, 1966.
12. TRAVERSE DE, COQUELET, LAGRANGE R. — Sur la bioglée et le péloïde d'Aix-les-Bains. Annales de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie, T. XXIV, n° 75, 1953.
13. DUBARRY, ALII. — Etude expérimentale sur la formation d'un péloïde par action de l'eau thermo-minérale de Rochefort sur les boues de la Charente.
Archives de Biologie thermo-climatique, T. II, n° 4, 1958, p. 270-278.

LE PRÉSIDENT. — Je remercie vivement M. Van Beneden pour sa très intéressante communication et je donne maintenant la parole au Docteur Ruhlmann.

UNE MÉTHODE NOUVELLE EN HYDROLOGIE LA PHOTOGRAPHIE DE L'IMPACT DES GOUTTES APPLICATION AUX EAUX THERMALES FRANÇAISES

par le Dr L. RUHLMANN (Quiberon)

La méthode de la photographie de l'impact des gouttes, ce qui correspond à l'expression allemande « Tropfenbildmethode », doit sa découverte à la nécessité où l'on s'est trouvé d'étudier rapidement des substances liquides, notamment sous le rapport de leur qualité.

Cette méthode fut mise au point à l'Institut de Herrischried 7881 en forêt noire par Theodor Schwenk, Ingénieur en hydrodynamique.

Cet Institut s'est donné pour tâche de s'efforcer d'assénir les eaux dans l'intérêt de l'homme et de la nature. Son premier but est la recherche de techniques qui sont véritablement aptes à revitaliser des eaux usées et épurées, qu'on est amené à redistribuer à la population.

Les eaux possèdent des qualités qui dépendent de leur composition physico-chimique, du traitement qu'elles subissent, mais aussi de facteurs qui, à l'heure actuelle, nous échappent complètement.

La dynamique de l'eau et les formes qu'elle peut engendrer, dans des conditions expérimentales rigoureusement identiques, sont variables suivant la nature qualitative de cette eau.

Pouvoir examiner ces expressions plastiques de l'eau, c'est acquérir une possibilité de connaître une caractéristique qualitative de l'eau, résultant d'un ensemble de facteurs.

La méthode optique de Th. Schwenk étudie les variations *des formes de mouvement de l'eau*, engendrées par la chute d'une goutte tombant sur un plan d'eau.

A l'impact de la goutte, il se forme, en plus du phénomène visibles des trains d'ondes circulaires, un mouvement de flux et de reflux de l'eau, que permet de mettre en évidence la méthode.

— Le déplacement des surfaces internes de l'eau se fait suivant un mouvement dont la forme et la dynamique sont caractéristiques pour chaque type d'eau et rigoureusement reproductibles, pourvu que l'expérimentation se fasse dans les mêmes conditions.

Le montage optique comprend :

1) l'appareil émetteur de gouttes ;
2) une coupe dont le fond est sans défaut optique ;
3) un dispositif optique pour éclairer et rendre visible le phénomène.

L'installation optique est semblable à celle des appareils de strioscopie qu'emploient les opticiens pour étudier les impuretés des verres. Au moment du point d'impact de la goutte, la lumière se trouve déviée et cette soustraction de lumière permet d'avoir un film d'images, qui est recueilli par une caméra qui se trouve en — F —.

Le trajet de la lumière, à partir de la source lumineuse, se fait à travers un banc d'optique qui comprend des diaphragmes, des lentilles, et des miroirs plans qui sont inclinés à 45 %.

L'eau à analyser se trouve dans la coupe et, afin qu'optiquement le phénomène devienne visible, l'on est obligé d'ajouter une petite quantité de substance réfringente.

Bien entendu, les formes des mouvements des surfaces internes sont physiquement influencées par la viscosité de la glycérine.

Il est donc nécessaire de normaliser la quantité additionnée au point de vue viscosité et densité, afin d'avoir au départ toujours les mêmes conditions physiques.

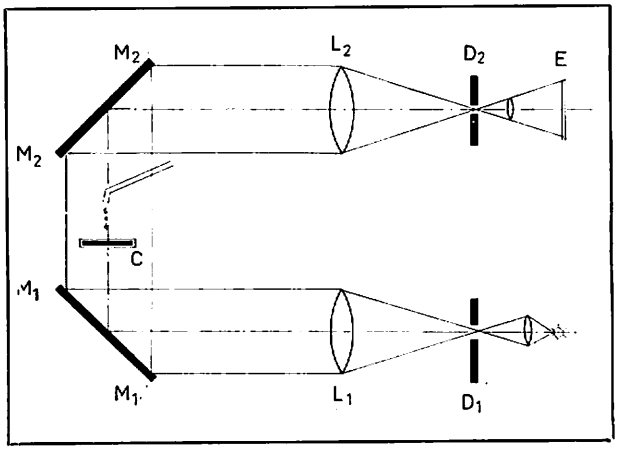


FIG. 1

S : Source lumineuse,
D_1 : Diaphragmes,
D_2 :
L_1 : Lentilles,
L_2 :
M_1 : Miroirs plans,

M_2 :

C : Appareil émetteur de gouttes et coupe.

L'eau qui s'égoutte du récipient est de l'eau distillée, l'eau à analyser se trouve dans la coupe. Disons tout de suite que le film que l'on obtient, lors de l'impact de la goutte, a les mêmes caractéristiques quand l'expérimentation est faite avec l'eau à analyser dans le compte-gouttes et que l'eau distillée et glycérinée se trouve dans la coupe. Ce n'est que pour des raisons pratiques de nettoyage de matériel que ce sont des gouttes d'eau distillée qui tombent sur l'eau à analyser.

En pratique, c'est le film qui rend compte le plus réellement de ce qui se passe dans ce mouvement de flux et de reflux, les instantanées que nous reproduisons dans cette publication sous forme d'images ont, cependant, également un intérêt pour l'examen. Elles ont été prises au moment exact du flux et du reflux, le trait noir que vous voyez sur les images n'est rien d'autre que la projection de la canule d'où tombe la goutte.

Nous avons pu effectuer des études d'eaux thermales françaises. Elles ont été captées dans des conditions rigoureusement identiques et ont suivi le même temps de vieillissement.

Comme exemple, nous reproduisons ici les images obtenues avec les eaux de Chomel et de Grande-Grille, de Bourbonne-les-Bains et Chatelguyon.

Les images obtenues avec les eaux de Chomel et de

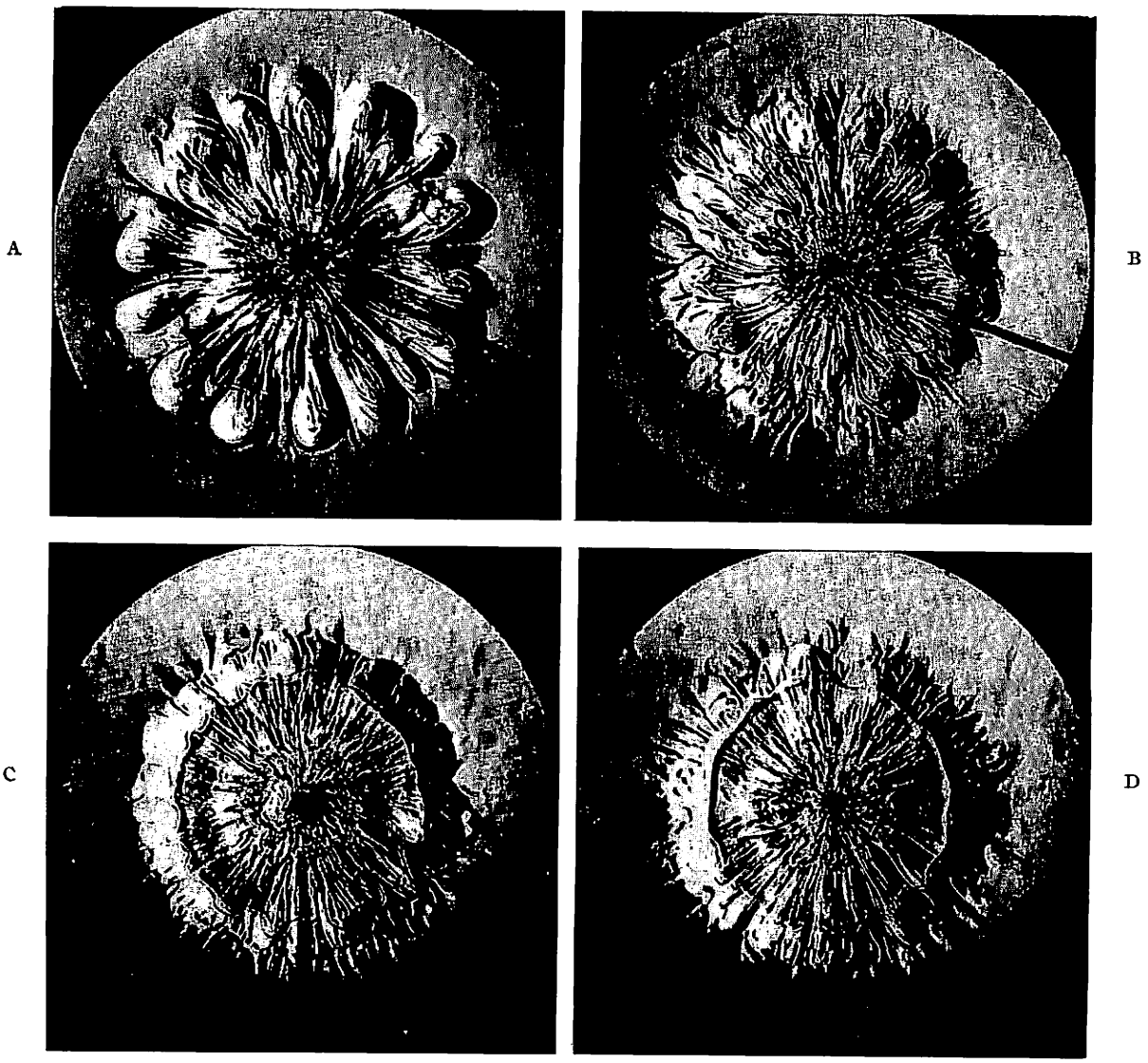


FIG. 2

A) *Source Chomel ;* B) *Source Grande-Grille ;*
C) *Châtel-Guyon ;* D) *Plombière.*

Grande-Grille, qui naissent à quelques mètres de distance l'une de l'autre, qui ont pratiquement la même composition chimique et qui présentent des propriétés thérapeutiques différentes, sont bien différenciées :

Chomel a une image foliaire, alors que Grande-Grille a une image ramifiée.

La Source Lucas, dont l'eau est captée à quelque distance de ces deux premières sources, montre une curieuse association des deux tendances dynamiques et de formes, mais l'image est plus diluée, moins nette dans ses contours. Les formes qui caractérisent les deux premières sources se juxtaposent dans l'image de la Source Lucas.

Les images des Sources de Châtelguyon et de Plombières sont pratiquement identiques et pourtant la composition chimique est très différente.

Il est intéressant de remarquer que Schwenk a souvent constaté des analogies entre sources de même intérêt thérapeutique et, ceci, indépendamment de leur composition chimique.

Le programme des études scientifiques qu'effectuent Schwenk et ses collaborateurs depuis 1961 est énorme, mais est fait de façon systématique. Il a été essentiellement orienté dans l'examen des eaux courantes et de produits pharmacologiques. Aussi, l'inventeur serait heureux de remettre entre les mains de collaborateurs nouveaux l'étude plus particulière des eaux des sources thermales.

M. Schwenk possède actuellement une collection impressionnante d'examens de sources thermales allemandes, mais aussi ceux de nombreux coins du monde, qui sont classés suivant un ordre dicté par les dynamiques de leurs formes. Il est certain que cet auteur, grâce à ses études, a pu acquérir des données précises, qui permettent de qualifier, par cette méthode, les eaux thermales sous le rapport thérapeutique.

J'ai été heureux de pouvoir réaliser un vœu, grâce à la collaboration des Professeurs Besançon et Ch. Debray, celui d'attirer l'intérêt des Hydrologues français sur cette méthode et sur la possibilité de l'exploiter dans leurs recherches.

Depuis un an, il existe un Institut, créé par des collaborateurs de Schwenk, installé en Suisse et qui, à côté d'un nouveau programme scientifique plus dirigé vers la biologie, peut procéder à l'examen d'eaux de toutes natures.

Je me permets de signaler ici à ceux qui seraient particulièrement intéressés par l'exploitation de cette méthode, dans un but de recherche scientifique, qu'il leur est possible de s'adresser à cet Institut CULTURA INSTITUT CH 4143 DORNACH 2: Laboratorium für Qualitätsuntersuchungen an Flüssigkeiten mit der Tropfenbildmethode nach Th. Schwenk, Forschung und Ausbildung.

Il existe une possibilité de formation de techniciens manipulateurs au sein des deux laboratoires existants ; quant à l'appareillage, il est d'un prix de revient très acceptable.

Une documentation existe, en langue française, constituée par une traduction du texte du livre de Th. Schwenk : « BEWEGUNGSFORMEN DES WASSERS », livrée avec celui-ci, aux Éditions « TRIADES » 4, rue Grande Chaumière, PARIS-6e.

LE PRÉSIDENT. — Je vous remercie. Je vais maintenant donner la parole au professeur Desgrez.

LES DONNÉES FOURNIES PAR L'ANALYSE CHIMIQUE DES EAUX MINÉRALES PERMETTENT-ELLES DE PRÉVOIR ET D'EXPLIQUER LEUR ACTION BIOLOGIQUE ET THÉRAPEUTIQUE ?

par P. DESGREZ (Paris)
Professeur à la Faculté de Médecine
Secrétaire Général de l'Institut d'Hydrologie
et de Climatologie

Mesdames, Messieurs,

Le thème de cet exposé paraîtrait certainement bien audacieux si le titre qui le résume ne se terminait par un point d'interrogation que je n'ai certes pas la prétention d'effacer aujourd'hui.

J'ai simplement l'intention de vous faire part d'un certain nombre de réflexions suggérées soit par mes lectures, soit par mes travaux. Cette présentation, bien loin d'être exhaustive, sera limitée à l'interprétation de quelques idées générales classiques et de quelques résultats obtenus au cours de recherches personnelles poursuivies avec mes collaborateurs de l'Institut National d'Hydrologie et de Climatologie.

Le problème est très schématiquement le suivant :

Le médecin désireux de faire profiter son patient des bienfaits de la crénothérapie affirmés par une longue tradition médicale irréfutable et par des recherches concluantes de physiologistes et de biologistes, se trouve devant un certain nombre de solutés aqueux naturels de substances minérales variées, parmi lesquelles il doit choisir pour les utiliser en vue du traitement d'une maladie définie.

En se limitant strictement au titre de ce rapport, les possibilités offertes sont assez bien résumées dans le tableau publié par Cazaux il y a quelques années. Il procède de la classification de Durand-Fardel, Jacquot et Wilm.

Les différents groupes sont établis en fonction de la nature de l'anion principal. Chacun d'eux comporte des subdivisions suivant le cation pondéralement le plus important.

CLASSIFICATION CHIMIQUE DES EAUX MINÉRALES

I. - Eaux bicarbonatées :

1. Eaux bicarbonatées sodiques,
2. Eaux bicarbonatées mixtes,
3. Eaux bicarbonatées calciques,
4. Eaux bicarbonatées ferrugineuses,
5. Eaux bicarbonatées complexes.

II. - Eaux sulfatées :

1. Eaux sulfatées sodiques et magnésiennes,
2. Eaux sulfatées calciques,
3. Eaux sulfatées ferrugineuses.

III. - Eaux sulfurées :

1. Eaux sulfurées sodiques,
2. Eaux sulfurées calciques,
3. Eaux thiosulfatées,
4. Eaux chloro-sulfurées.

IV. - Eaux chlorurées :

1. Eaux chlorurées sodiques fortes,
2. Eaux chlorurées sodiques faibles.

V. - Eaux oligométalliques.

Il est naturel de prévoir que dans un premier temps ce sont les propriétés des substances dissoutes qui vont guider ce choix. Souvent les éléments majeurs ou de la minéralisation principale seront déterminants, mais très fréquemment aussi, l'activité des éléments mineurs ou de la minéralisation accessoire seront pris en considération sans oublier certains oligoéléments.

Mais lorsqu'un praticien prescrit une cure en station hydrominérale, il en attend mieux que la simple action d'une solution banale d'un mélange de sels minéraux préparée extemporanément dans une officine avec une quelconque eau distillée.

Aux propriétés classiques des ions dissous une expérience médicale très ancienne nous a appris qu'il s'ajoute d'autres qualités, souvent imprévisibles sur le papier, et qui font le succès de la crénothérapie. En voici deux exemples :

Le premier, le plus simple et peut-être le plus facile, sera celui des eaux bicarbonatées sodiques du type Vichy (source Hôpital 6 g p. l) ou Vals (8 g p. l). L'activité neutralisante sur les acides de leur minéralisation principale attire bien évidemment tout d'abord l'attention. Elle a été recherchée et recommandée de tous temps chez les sujets pour lesquels on parlait autrefois de dyspepsie hyperchlorhydrique, avec ses brûlures épigastriques classiques et son « pyrosis ».

Depuis peu on a montré la fréquence d'une hernie

hiatale liée à ces phénomènes et comme le soulignait il y a peu de temps le Professeur François Besançon, la cure de Vichy donne dans de tels cas d'excellents résultats. On peut à juste titre penser qu'ils sont dus au bicarbonate de sodium qui en solution pure est un traitement classique des inconvénients douloureux de la hernie hiatale en diminuant en particulier le retard d'évacuation de l'estomac.

Mais les praticiens sont d'accord pour reconnaître que le traitement de Vichy, ou d'autres centres de cure similaires, est mieux supporté que la simple eau bicarbonatée et que l'effet d'une cure de trois semaines est durable avec un effet de cicatrisation prolongé.

D'un tout autre point de vue, cette alcalinisation par les eaux bicarbonatées sodiques sera recherchée en vue d'une modification du pH, d'action plus générale se traduisant finalement par une alcalinisation urinaire souhaitée chez les hyperuricuriques dont la réaction acide des urines favorise la précipitation de l'acide urique.

Pour ne pas m'arrêter au seul exemple du bicarbonate de Na, il est facile de trouver d'autres cas d'indication majeure qu'impose d'emblée le simple examen de la composition chimique. Je citerai, en choisissant cette fois un élément pondéralement faible, les eaux arsenicales.

TABLEAU I

STATIONS FRANÇAISES

STATION	N° DE SOURCES	ÉLÉMENTS DE LA MINÉRALISATION	TEMPÉRATURE °CENTIG.	RÉSIDU FIXE g. par l.	RÉSISTIVITÉ w/cm	RADIOACTIVITÉ nano C
Alpes						
Aix-les-Bains *	2	S, CO_3H, SO_4 Ca, Na	38e à 46°	0,4587	1590	6,25
Uriage		S,Cl Na	24°	11,37	67,5	0,10
Zone prépyrénéenne						
Barbazan		SO_4, CO_3 Ca, Mg	19°3	2,0385	470	0,22
Barbotan	4	SO_4, CO_3H Ca	36e	—	3100	3,67
Prechacq-les-Bains		SO_4,Ca	61°	—	581	—
		S	18°	—	577	—
Dax	9	SO_4, Cl Ca, Mg, Na	59°8	1,0244	830	—
Pyrénées						
Amélie-les-Bains		S,Na	—	0,3204	4320	4,08
Ax-les-Thermes	4	S,Na	69°2	0,2337	4313	3,39
Balarue		Cl,Na	48°	10,68	77,5	0,30
Massif Central						
Evaux-les-Bains	3	SO_4, Cl, CO_3H Na	55°	1,440	542	2,34
Nérès		CO_3H, Cl Na, K	52°	1,1256	710	0,364
Bourbon-l'Archambault		CO_3H, Cl, Br, I Na, As	53°	3,1864	230	0,21
Bourbon-Lancy	5	Cl, CO_3H Na, Ca, Mg, Fe	53°	1,7202	402	0,95
Est						
Bourbonne-les-Bains		Cl, SO_4 Na, Ca, K, Mg	65°6	7,214	210	4,55 à 18,7
Nord						
Saint-Amand-les-Bains		SO_4 Ca, Na	24°	1,500	—	—

* Dans le cas des stations possédant plusieurs sources, c'est la plus caractéristique de la station qui a été choisie.

L'arsenic est un vieux médicament utilisé avec bonheur depuis longtemps pour le traitement des « états scrofuleux » chez l'enfant. Ses propriétés, à petites doses, expliquent les indications de la cure hydrominérale arsenicale chez les sujets asthéniques, chez les porteurs d'hyperplasies ganglionnaires, les convalescents, les hypotrophiques et les enfants malingres, anémiques. Mais là encore nous allons plus loin que la simple liqueur de Fowler.

Il est notoire que les eaux de la Bourboule lèvent le bronchospasme acétylcholinique et le bronchospasme permanent ainsi que l'on vérifié expérimentalement en 1929, Villaret, Justin-Besançon et Vexenat. Ses propriétés antianaphylactiques découvertes par Billard sont quotidiennement mises à profit en thérapeutique. Elles ont été démontrées et vérifiées par Cuvelier vis-à-vis de l'histamine.

D'autre part, la meilleure tolérance aux eaux arsenicales thermales qu'aux solutions d'arsenites et d'arseniates du Codex a été reconnue par tous les utilisateurs qui ont même pu constater que l'activité de l'arsenic pris à la source était trois fois supérieure à celle des simples solutions du Codex.

Mais il nous paraît maintenant plus intéressant d'aborder notre problème d'un autre point de vue en prenant comme point de départ une maladie et de comparer la composition des différentes sources hydrominérales actives dans le traitement de cette affection, de notoriété médicale indiscutable.

Le rhumatisme est l'exemple que j'ai choisi et le tableau II présente les stations françaises où on le soigne (tableau I).

L'examen des éléments majeurs et mineurs ne nous apporte que bien peu de renseignements sur l'indication formelle et spécifique du traitement des affections rhumatismales.

En général la minéralisation de ces eaux est qualitativement variée et ne dépasse guère 3 g par litre. Elles ont en commun : leur thermalité, très fréquemment comprise entre 35° et 65° C.

Comme le montre le tableau suivant des stations d'Allemagne et d'Italie, les mêmes remarques sont applicables aux eaux étrangères ayant la même spécialisation (tableau II).

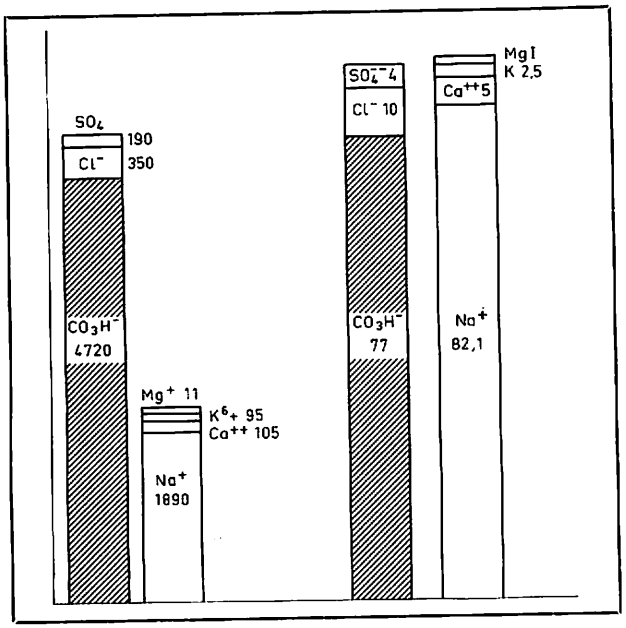
Bien évidemment l'exemple du rhumatisme n'est peut-être pas un des meilleurs en raison de son relatif polymorphisme. Mais nous trouverions facilement d'autres exemples semblables applicables à d'autres maladies et il faut de toute évidence chercher au-delà des renseignements certes fondamentaux, mais peut-être biologiquement insuffisants, fournis par la composition pondérale brute.

A ce propos, il faut sans aucun doute toujours associer à cette dernière, la notion actuelle de la composition en milliéquivalents. Celle-ci permet d'apprécier l'équilibre ionique d'une eau minérale en rendant sensible les rapports moléculaires des anions et cations en présence, comme le montre le tableau III ou les deux colonnes de gauche expriment la composition

TABLEAU II

ITALIE				ALLEMAGNE			
Abano	Cl, Br, I Na	Acquasanta	S	Badenveiler	Cl, CO_3H Na, Ca 26° 34°	Nenndorf	S, SO_4 Ca, Mg 75°
Agnano	Cl, CO_3H	Acireale	S, Cl, Na				
B. Bormio	CO_3H, SO_4 Ca	Acque Albule	S, CO_3H	Wiesbaden	Cl, Na 67°	Aachen	S, Cl CO_3H, Na
Casciana	SO_4, CO_3H	Acqui	S, Cl, Br, I Na	Baden-Baden	Cl, Na, Ca 69°		
Lucca	CO_3H. SO_4						
Bagnoli	Cl, Na	Ali Marina	Cl, SO_4, Br, I S				
Casamicciola	Cl, Na						
Castrocaro	Cl, I, Br Na	Vinadio	S	Kreuznach	Cl, Na, Ca		
		Caramanico	S	Salzuflen	Cl, CO_3H, Na 22° 37°		
Lacco Ameno	Cl, Na	Castellammare di Stabia	Cl, S, Na	Steben	CO_3H, Fe		
Masimo Bagni	SO_4	Riolo di Bagni	S	Navhein	CO_3H, Cl Na		
Miradolo T.	Cl, Br Na	Sant'Andrea	S Mg, Fe				
Monticelli	Cl, Br, I Na	Sciacca	S	Oeynhausen	CO_3H, Cl SO_4, Ca		
Porto d'Ischia	Cl, Br, I Na	Sirmione	S				
		Telese	S, CO_3H	Wilbad	oligometall. 33° 37°		
Pozzuoli	Cl, SO_4 As	Stigliano	S, SO_4 Ca				
Rivanazzano	Cl, Br, I Na	Viterbo	S, SO_4, CO_3H Ca				
Salice T.	Cl, I, Br Na						
Salsomaggiore	Cl, Br, I Na						

TABLEAU III



pondérale et celles de droite la composition en milliéquivalents de la source grande grille à Vichy.

L'expérience a montré que cet équilibre ionique est instable, vivant, pourrait-on dire, et il est permis de penser que dans cet état physio-chimique les éléments dissous acquièrent une activité biologique qui trouverait une résonnance au niveau du métabolisme cellulaire.

La deuxième caractéristique d'une eau thermale à considérer est la connaissance du rH. Il traduit l'état d'équilibre des formes réduites et oxydées des ions chimiques dissous. Une grande quantité de travaux, malheureusement un peu oubliés, de Lescœur et de Traverse ,de Mme Blanquet, de Cuvelier, de Cazaux ont montré qu'à leur émergence la plupart des eaux minérales présentent un rH dans la zone de réduction, soit inférieur à 27,7. Il s'agit là d'un phénomène général : s'il est facilement prévisible pour des eaux sulfureuses avec les variétés d'ions SH^-, S^{--}, $S_2O_3^{--}$, il a été retrouvé également de façon plus inattendue dans les eaux dont les éléments dissous paraissent a priori moins actifs.

Ainsi dans certaines eaux bicarbonatées sodiques ou ferrugineuses on a pu constater d'une part :

— une modification du pH prévisible par départ de CO_2 ;

— une oxydation vraie du milieu tendant à le rapprocher de la neutralité par rupture de l'équilibre : état réduit, état oxydé.

Les modifications du pH et de l'équilibre du système Red-Ox témoignent d'un vieillissement qui débute lentement dès l'émergence et qui permettraient de réhabiliter l'ancien vocable, maintenant désuet d'eau vivante.

Les oligoéléments occupent une place à part en raison de leur très faible masse. Il est difficile à l'heure actuelle de préciser leur action. Elle est à rapprocher des oligoéléments de l'organisme dont le rôle d'inhibiteurs et d'activateurs dans les réactions enzymatiques s'est précisé ces dernières années.

Nous pensons que dans la voie de la recherche, il y a beaucoup à faire sur l'importance de l'action de ces oligoéléments dans la crénothérapie et qu'elle pourrait donner lieu à un travail statistique très fructueux.

COMPORTEMENT DE L'ORGANISME VIS-A-VIS DE L'EAU MINÉRALE

Si les chercheurs se sont préoccupés d'analyser l'action des eaux minérales sur l'organisme il est assez rare que le processus inverse ait été envisagé. Cette question mérite cependant attention et peut ouvrir certaines perspectives.

Voici deux exemples tirés de notre expérience personnelle qui illustreront notre propos :

Il peut sembler à première vue assez paradoxal de traiter par des eaux dont l'analyse pondérale montre la présence de calcium et en particulier du sulfate de calcium, des sujets lithiasiques dont l'organisme produit précisément des calculs d'oxalate ,de phosphate ou de calcium.

Il était logique de penser que le remède ne pouvait qu'aggraver le mal et nous avons jugé avec mon équipe, conduite par J. Thomas, que le problème méritait d'être étudié.

Nous avons entrepris de comparer la calciurie chez les lithiasiques soumis à des cures d'eaux minérales de diverses origines dont la composition pondérale en calcium différait sensiblement ainsi que le montre le tableau suivant.

TABLEAU IV

VITTEL	— Grande Source — Ca 225 mg p. l (sulfate)
ÉVIAN	— Source Cachat — Ca 78 mg p. l (bicarbonate)
VOLVIC	— oligominéral (10 mg p. l)

Les résultats furent assez inattendus. La différence de l'élimination calcique entre les sujets buvant de l'eau de Vittel (Grande Source) et de l'eau d'Évian est nulle et la même expérience avec les eaux de Vittel et de Volvic n'est statistiquement pas significative avec un facteur de Student, t de 1,12 et une probabilité p de 0,25.

Nous avons proposé l'explication biologique suivante :

On sait que dans le sulfate de calcium neutre, le cation est faiblement ionisé et n'est pratiquement pas absorbé par la muqueuse intestinale, ce qui a permis de traiter certaines hypercalciuries par le sulfate de sodium par voie orale ou même par voie intraveineuse.

De plus dans l'eau de Vittel nous trouvons 39 mg de Mg p. 1 sous forme également de SO_4Mg. L'ion Mg peut traverser la muqueuse intestinale, libérant des ions SO_4^{--} qui satureront le calcium amené par les aliments.

Les résultats comparatifs avec l'eau d'Évian fortifient cette hypothèse de l'importance de l'anion qui est bicarbonaté dans ce cas et facilement décomposable par les sucs digestifs acides.

Le deuxième exemple de l'action de l'organisme vis-à-vis des substances dissoutes se rapporte à des expériences remontant à plusieurs années, publiées avec mon maître Michel Polonovski, en étudiant les modalités d'une élimination respiratoire de SH_2 au cours de la cure de boisson sulfureuse.

Les malades soumis à une cure de boisson sulfureuse déclarent avoir l'impression d'exhaler de l'hydrogène sulfuré dont ils retrouvent le goût et l'odeur dans la bouche et les voies respiratoires supérieures.

L'explication paraît simple : le principe sulfuré absorbé par le tube digestif passe dans la circulation générale, puis dans les poumons, s'éliminant ensuite par le rhino-pharynx. Cette explication repose sur l'expérience célèbre de Claude Bernard qui, injectant dans le rectum d'un chien une solution d'hydrogène sulfuré, montrait que ce dernier s'exhalait quelques instants après par les voies respiratoires comme en témoignait le noircissement d'un papier à l'acétate de plomb placé devant le museau de l'animal.

La reproduction de l'expérience de Cl. Bernard est facile et indiscutable avec une solution forte de sulfure de sodium. Il n'en est pas de même avec une eau sulfureuse aux concentrations médicinales.

Quelle que soit la voie d'introduction essayée : rectum, œsophage ou même veine saphène, il est impossible de déceler la moindre trace d'hydrogène sulfuré dans l'air expiré par le chien portant pour plus de sûreté une canule trachéale en verre.

De toute évidence l'hydrogène sulfuré est métabolisé au niveau du foie et pour dépasser cette défense naturelle il est nécessaire d'atteindre des doses d'hydrogène sulfuré de 0,012 p. kg d'animal soit 0,035 p. kg en sulfure de sodium.

Chez l'homme pour forcer le barrage hépatique en faisant l'extrapollation de l'animal à l'homme, il faudrait faire boire à un individu de 70 kg en une fois 28 litres d'eau d'Enghien ou 70 litres d'eau d'Uriage, en supposant que tout le soufre soit sous forme d'hydrogène sulfuré.

Ces résultats sont en accord avec les très anciennes études de H. Roger et H. Garnier qui avaient tenté de mettre au point un test d'exploration hépatique fondé sur le pouvoir oxydant du foie vis-à-vis des sulfures.

L'impression du curiste de cette élimination sulfureuse pulmonaire doit être certainement attribuée à une simple regurgitation gazeuse d'origine gastrique.

Ces données expérimentales ne sauraient constituer une critique de la cure par les eaux sulfureuses.

Nous pensons simplement que les modalités biologiques de leur action bienfaisante maintes fois démontrée sur le plan médical, doivent être repensées et trouvent une explication dans les produits du métabolisme soufré. Leur ensemble sulfure-hyposulfite-sulfate constitue un système redox classique qui pourrait intervenir au niveau hépatique en influençant les systèmes enzymatiques cellulaires.

ROLE DU VECTEUR AQUEUX

Il est enfin un élément dans la composition des raux minérales qui est rarement pris en considération et dont la proportion est cependant de loin pondéralement la plus importante. Il s'agit du véhicule des substances dissoutes, du solvant, de l'eau H_2O proprement dite.

Ce pouvoir dissolvant de l'eau est cependant spécifiquement mis en œuvre dans les grands traitements de diurèse dont sont justiciables les lithiasiques.

L'action dissolvante recherchée est favorisée par certains sels dissous : les alcalinisants favorisent la solubilité de molécules acides comme l'acide urique par exemple, de même que les ions magnésium contribuent à solubiliser les ions calciques. Les modalités de son activité ne sont cependant pas aussi simples qu'il pourrait sembler. Nous en avons de multiples preuves et nous ne présenterons qu'un exemple tiré d'un travail que nous avons publié au Congrès International de Lisbonne.

Etudiant l'importance du rôle de la diurèse dans le traitement de l'oxalurie nous avons constaté que pour un volume urinaire de 24 heures inférieur à 3,500 l, l'élimination de l'acide oxalique reste pratiquement constante et basse.

En revanche il faut atteindre un volume égal ou supérieur à 3 500 ml par 24 heures pour que l'élimination moyenne passe de 33,58 mg p /24 h à 43,17 mg, cette différence étant statistiquement significative.

D'autre part, à côté de cet entraînement hydrique, nous avons pu constater que quelle que soit la valeur de la diurèse le taux de l'oxalurie baisse à partir de la troisième semaine de cure dans la proportion moyenne de 40 p. 100.

Sous l'influence de la cure, il semble bien qu'il faille envisager à côté d'un simple entraînement hydri-

que une modification du métabolisme de l'acide oxalique.

Cette idée semble devoir être confirmée par une récente recherche au cours de laquelle nous avons pu montrer par des dosages répétés de l'oxalurie au cours des semaines ou même des mois suivant la cure, le maintien à un niveau relativement bas de l'oxalurie qui passe de façon significative d'une moyenne de 59 mg à 35 mg par 24 heures.

Cette amélioration s'est montrée durable dans six cas sur neuf.

Il semble évident qu'à l'heure actuelle il faut dépasser dans les recherches d'hydrologie médicale les bilans d'entrée et de sortie et développer au maximum les programmes de travaux portant sur les modifications métaboliques déjà entreprises depuis quelques temps dans bien des centres hydrominéraux de France et de l'étranger.

Pour reprendre l'exemple de nos recherches sur la biogénèse de l'acide oxalique chez le lithiasique, nous avons pu apporter la preuve d'une corrélation très nette avec l'élimination urinaire journalière de l'acide glycolique (30 mg/24 h).

Cette corrélation disparaît chez le lithiasique et c'est dans l'étude des étapes de ce métabolisme et des éléments enzymatiques qui le conditionnent que nous nous dirigeons maintenant.

Je pense, et ce sera ma **conclusion**, que la recherehe Hydrologique expérimentale doit s'orienter vers une exploration biologique profonde atteignant les systèmes enzymatiques cellulaires, leur déséquilibre et leur régulation.

Les travaux dans cette voie contribueront certainement dans l'avenir à fournir une réponse à la question posée dans le titre de ce rapport.

Le Président DEBIDOUR. — Messieurs, nous allons, si vous le voulez bien, attendre pour la discussion qu'ait eu lieu la remise des prix de la Société Française d'Hydrologie que M. Louis Armand a bien voulu assurer, et je l'en remercie.

Je vais appeler les lauréats et laisser à M. Louis Armand le soin de remettre les trois premiers prix qui leur sont décernés ex-aequo par notre Société en 1971 pour leurs travaux respectifs :

Dr CHARTRES Colette. — Techniques thérapeutiques expérimentées à Salies-de-Béarn (Pr J.J. Dubarry et Pr ag. Fr. Besançon).

Dr LETAILLEUR Micheline-Yvonne. — Mesure de la vitesse de l'évacuation gastrique par la méthode des indicateurs colorés (Pr Ch. Debray) - Mémoire pour l'attestation d'Hydrologie.

Dr ZIMMERMANN Pierre. — Débitmétrie alcaline à pH constant dans l'estomac humain. Mémoire pour l'attestation d'Hydrologie (Pr ag. Fr. Besançon).

DISCUSSION GÉNÉRALE

LE PRÉSIDENT DEBIDOUR. — Nous allons, si vous le voulez bien, ouvrir la discussion sur tout ce qui a été dit cet après-midi. M. le Professeur Morette va diriger les débats.

M. MORETTE, PRÉSIDENT. — Qui demande la parole à propos du rapport de M. NINARD ?

M. DESGREZ. — M. Ninard nous a dit tout à l'heure qu'il faisait des réserves, je crois, sur les eaux qui étaient d'utilité publique, sur les eaux que tout le monde pouvait se procurer, et même sur les eaux minérales. Il avait fait une distinction, j'ai oublié les termes exacts, mais il avait parlé des eaux qui sont servies au public, si vous voulez, par les conduites ordinaires, par un système municipal, et des eaux minérales.

Existe-t-il une législation qui protège les eaux minérales ? Autrement dit, est-ce-qu'une eau de source, minérale, reconnue par l'Académie de Médecine, est vraiment considérée comme n'étant pas à la disposition du public, est-ce que vraiment elle est considérée comme ne pouvant pas venir du robinet des villages d'alentour ?

M. NINARD. — Effectivement l'eau minérale ne peut pas servir à autre chose ; elle doit rester exclusivement minérale, l'exploitant s'y engage et lorsque le cas d'une autre utilisation se produit, elle est donc déclassée automatiquement.

M. François BESANÇON. — Il est très important que nous ayons cette définition thérapeutique des eaux minérales, c'est la force des eaux minérales françaises dans le cadre du Marché Commun, c'est l'efficacité thérapeutique reconnue par l'Académie de Médecine, mais il serait tout de même possible de s'interroger sur la signification et le caractère définitif de cette notion.

Cet après-midi j'ai été faire un cours dans une Faculté de Médecine dans le cadre de la thérapeutique aux étudiants, et ce qu'ils me demandaient, ce n'était pas de dire la valeur thérapeutique dans l'absolu, mais de dire ce que c'est que l'eau minérale, que la thérapeutique thermale dans le contexte de la thérapeutique actuelle. Autrement dit, la notion des valeurs thérapeutiques en soi est importante et ne devra pas être perdue de vue, mais la notion de valeur thérapeutique actuelle est une notion supplémentaire et autrement importante.

Et cet état d'esprit de nos étudiants actuellement est aussi celui de l'opinion publique, ce qui fait que la thérapeutique est continuellement remise en question et doit toujours être actualisée, suivant l'excellente expression de M. Cuvelier. Et l'état d'esprit des étudiants d'aujourd'hui peut être celui de l'Académie de demain. Et c'est d'ailleurs à l'honneur des médecins qui se consacrent à l'hydrologie, de toujours veiller à cette actualisation et de ne pas dormir en quelque sorte sur une définition qui ne peut pas être considérée comme intangible et définivite.

LE PRÉSIDENT. — Personne ne demande plus la parole sur ces rapports ?

Alors, en ce qui concerne mon propre rapport, est-ce que quelqu'un veut poser une question ?

M. NINARD. — Vous allez penser, Monsieur Morette, que je vous attaque, mais vous savez que c'est une attaque amicale... je pense que dans cette interprétation des eaux sulfuriques que vous avez donnée, vous avez commis un petit oubli, c'est l'origine du soufre. Il semble ressortir de votre exposé que les dérivés thermaux du soufre sont toujours d'origine biologique, dûs, en somme, à une action biologique sur des composés. Mais il y a également dans les Pyrénées des sources dont l'origine du soufre vient des mofettes sulfurées, étant donné le volcanisme de ce pays.

Évidemment, il y a des cas ou les dérivés sulfurés sont d'origine biologique et là il peut y avoir également du méthane associé dû à des fermentations ; les eaux sulfurées sortent souvent d'endroits qui ne sont pas, je dirai, toujours très propre.s

Par exemple dans les Pyrénées, bien qu'il s'agisse d'un volcanisme très ancien, là le soufre est d'origine tellurique, pour employer un mot général.

En ce qui concerne les différentes représentations graphiques existantes, elles ne me donnent pas satisfaction parce que je ne les trouve pas parlantes. Le type d'eau ne saute pas aux yeux. On est obligé de se reporter aux chiffres, et si l'on regarde les chiffres, pourquoi ne pas regarder les chiffres d'un tableau ?

J'ai cherché à établir une représentation sous forme de figure. Elle a ses petits défauts ; elle a aussi ses qualités.

Actuellement je surveille 898 sources thermales, et, pour arriver à les classer, c'était la méthode la plus commode — j'ai été très heureux de voir les schémas fournis par l'ordinateur ce matin — elle donne des images qui se recouperont très bien si nous arrivons à collaborer avec ces messieurs du B.R.G.M.

M. DESGREZ. — Je connais parfaitement la qualité des schémas de M. NINARD, ils sont excellents, mais ils ont besoin, il en conviendra avec moi, d'être

expliqués. Je préfère la présentation de milli-équivalents par colonne, parce que les médecins y sont très habitués car il y a longtemps qu'ils mesurent les milli-équivalents dans le sang.

M. Morette est un très fin observateur. Je voulais vous dire que mes deux colonnes n'étaient pas sensiblement de la même hauteur.

LE PRÉSIDENT. — Je n'ai jamais dit, Monsieur Ninard, que le soufre était en général d'origine organique. Ce que j'ai dit c'est que notamment dans le cas des Pyrénées, où il avait au contraire une origine minérale, toutes les eaux sulfurées pratiquement étaient associées à une végétation microbienne.

Quant à la critique de la détermination, elle a tout de même son utilité traditionnelle.

J'ai remarqué que M. Desgrez avait fait un tableau un peu analogue au mien. Il avait parlé d'oligométalliques, et moi j'ai fait mention des voies arsenicales. Il n'y a pas beaucoup de sources arsenicales en dehors de La Bourboule, et un peu à Saint-Honoré-les-Bains.

Il est évident que même avec 7 ou 8 mmg par litre d'arsenic à La Bourboule, cela ne va pas très loin par rapport au reste.

Je crois que les médecins en premier sont bien aise de pouvoir dire qu'on a affaire à La Bourboule à une eau arsenicale ; alors il est bien évident que pour les eaux sulfurées sodiques, je vois même dans les Pyrénées qu'il y a davantage de silice que de soufre. Personne n'en parle. Allez donc trouver une dénomination pour les eaux pyrénéennes, à Moltig ou à Luchon, autre que sulfurées ? Comment voulez-vous faire ?

M. NINARD. — Non, sulfurées, je veux bien, mais mon reproche s'adresse à l'expression « sulfurées sodiques » ; c'est la combinaison... Je crois qu'il vaudrait mieux dire : « sulfurée de type pyrénéen ou de type alpin ».

LE PRÉSIDENT. — « Type pyrénéen », cela caractérise bien, mais « type alpin » me paraît difficile.

M. NINARD. — C'est une question de pH.

LE PRÉSIDENT. — On ne peut le mettre en trois mots.

Quelqu'un demande-t-il encore la parole ?...

M. AUBIGNAT. — J'ai longtemps hésité avant de demander la parole car je crains que ce que je me propose d'exposer soit interprété comme étant une critique du Corps Médical — alors que je me veux absolument objectif — et que, de surcroît, il s'agit d'un sujet qui, précisément, est du domaine des médecins et déborde, par conséquent, celui du Service des Mines que je représente ici.

Les personnes qui ont pris la parole, après mon exposé sur le captage des sources minérales, ont toutes très justement insisté sur le fait que la composition ionique de l'eau minérale était en équilibre très précaire, ce qui veut dire que cet équilibre peut être facilement détruit si l'on en prend pas les précautions nécessaires. De surcroît, il semble également bien établi que le maximum d'efficacité des eaux minérales est obtenu tant que celles-ci n'ont pas eu leur composition originelle perturbée.

Cet état de choses devrait donc normalement conduire à prendre beaucoup de précautions pour amener l'eau minérale depuis son émergence, jusqu'à ses différents stades d'utilisation, de façon à lui permettre de conserver ses vertus originelles, jusqu'au moment où elle est administrée.

Or, hormis l'eau minérale qui est dispensée aux buvettes, lesquelles sont généralement alimentées directement, sans stockage intermédiaire, à partir de l'émergence, celle qui est destinée aux autres usages (Bains-douches-aérosols, etc...) est généralement transitée, stockée, puis redistribuée sans souci aucun semble-t-il, d'observer les plus élémentaires précautions pour éviter qu'elle ne soit altérée et dégradée.

Il n'est pas rare, par exemple, de voir l'eau minérale pompée avec des pompes centrifuges, qui ont certes, un excellent rendement mécanique, mais qui, par un brassage énergique du fluide, la séparent de ses gaz en dissolution et, surtout, de ceux qu'elle peut contenir à l'état de sursaturation. De même, l'utilisation de canalisations de trop faible diamètre pour la transport de l'eau minérale entraîne un écoulement turbulent, lui aussi évidemment destructeur de l'équilibre eau + gaz. Également, dans les bassins de stockage, où l'eau minérale est accumulée jusqu'au moment où elle sera utilisée, elle est en contact avec l'atmosphère par les orifices de respiration des réservoirs (quand elle n'est pas simplement à l'air libre) elle peut donc s'y « oxygéner » à loisir. Enfin il est fréquemment nécessaire de modifier la température naturelle de l'eau minérale soit en la refroidissant, soit en la réchauffant et, pour ces opérations on recourt encore à des pratiques, telles que le barbotage de vapeur dans l'eau, pour le réchauffage, qui perturbent gravement l'équilibre originel de l'eau. Le mécanisme est simple, le dégazage intensif de l'eau minérale, puis son oxygénation, provoquent la formation puis la précipitation de bicarbonates insolubles et de sels de fer, lesquels entraînent, à leur tour, la quasi-totalité des oligoéléments, c'est-à-dire la perte des éléments considérés comme les plus actifs de l'eau minérale. Cela se traduit par la formation de floculats que l'on retire chaque année par tonnes des bassins de stockage.

En définitive, on administre à l'établissement thermal une « eau morte », pour employer l'expression consacrée.

Et bien, j'ai toujours été extrêmement étonné que le Corps Médical n'ait jamais — à ma connaissance — émis une objection quelconque concernant ces fâcheux traitements infligés à l'eau minérale vierge. Quant aux exploitants thermaux, ils ne paraissent pas s'en être souciés davantage, plus préoccupés qu'ils semblent

être à soigner l'esthétique de leurs établissements, ce qui, il faut bien en convenir, est beaucoup plus sensible aux yeux de la clientèle.

On peut se demander, dans ces conditions, s'il est encore utile que le Service des Mines se soucie de réaliser des captages aussi parfaits que possible pour permettre de disposer dès son émergence d'une eau minérale intégrale si, après aucune précaution n'est prise pour éviter qu'elle ne se dégrade avant son utilisation.

Le Service des Mines, dont les attributions s'arrêtent à l'entrée des établissements thermaux, ne peut pas grand'chose — sauf tenter de persuader — pour remédier à cet état de choses. Au-delà, le relai est pris par la Santé et le Corps Médical et c'est à eux d'agir.

La solution à ces difficultés n'est pas tellement difficile et, moyennant la mise en œuvre, en premier temps tout au moins, de mesures simples (utilisation de pompes volumétriques à marche lente, de canalisations à gros diamètre, de réservoirs de stockage avec atmosphère d'acide carbonique, etc...), on pourrait déjà apporter de très sensibles améliorations

En terminant, je me permets d'insister à nouveau pour que MM. les Médecins se penchent rapidement sur ce problème dont la solution me paraît susceptible d'apporter une contribution importante au renouveau de nos stations thermales dans le sens de l'amélioration des résultats déjà spectaculaires qui y sont obtenus.

Voilà ce que je voulais dire. Voilà ce qui devait être dit me semble-t-il, de manière tout à fait objective, par conséquent, je l'espère, sans avoir eu à me heurter à certaines susceptibilités.

LE PRÉSIDENT. — C'est un sujet qui me préoccupe beaucoup, sans doute parce que je suis pharmacien.

M. Ninard sait bien que je suis convaincu qu'il faudrait surveiller davantage la production de l'eau minérale. Je dois vous dire qu'il y a très longtemps que je pense à cette question de la constance de l'eau minérale à partir du moment où l'ingénieur des Mines nous a assuré qu'il captait l'eau avec le maximum de garanties scientifiques de conservation du griffon dans son état naturel.

M. AUBIGNAT. — Il ne sert à rien de faire tant de travail...

LE PRÉSIDENT. — Si après on malmène l'eau. Je manque de renseignements, mais le président Debidour va nous en donner, et M. Ninard bien entendu. Je crois qu'il y a probablement des progrès à faire dans ce domaine.

J'ai déjà participé à une action de ce genre à propos des peloïdes. Il n'y a eu une époque qui n'est pas très ancienne, où pratiquement on n'utilisait que deux sortes de boues minérales, c'était à Dax d'une part, et à Saint-Amand dans le Nord. Puis on s'est mis à en faire un peu partout.

Dans le premier cas c'étaient des peloïdes naturels ; mais ils ont changé depuis cette époque-là. Disons par exemple dans une station où l'on fait les peloïdes, il faudrait absolument qu'il y ait une définition pour la station elle-même. Ou bien alors que dans certains cas on conserve un peloïde omnibus. A ce moment-là on tombe sur la pharmacothérapie quasiment fabriquée à l'usine.

En tout cas, dans une station donnée, on peut faire maturer un peloïde dans l'eau minérale. Il est évident qu'il faut édicter des rails. Car pour les détracteurs du thermalisme, ce pourrait être un argument assez ennuyeux. « Si les médecins soignent une maladie avec n'importe quoi, alors vraiment le thermalisme existe ! » je m'excuse d'être aussi franc que M. Aubignat.

Je crois donc qu'il appartient au corps médical de la station de procéder en fait à une surveillance qui ne serait pas exercée forcément par eux, — je m'excuse de prononcer le nom du pharmacien — si toutefois les pharmaciens veulent bien se pencher sur ce problème. Mais je suis sûr qu'il reste encore de mes confrères désireux d'appliquer au thermalisme les connaissances acquises à la Faculté.

Je donne la parole à M. Aubignat.

M. AUBIGNAT. — J'ai cru devoir inviter le Corps Médical et Pharmaceutique à s'intéresser à ces questions, autrement dit à entreprendre une collaboration aussi étroite et aussi confiante que possible avec les Établissements Thermaux. Et ce d'autant plus qu'il m'a été très fréquemment rapporté par ces derniers qu'ils souffraient de ce manque de contact avec les médecins des Stations ; les jours derniers on se plaignait encore dans une Station Thermale de ce que « MM. les Médecins se montrent vraiment trop peu curieux de la façon dont nous administrons les soins aux curistes ». « Jamais, me disait-on dans une autre Station, nous n'avons la visite d'un médecin autrement que pour recueillir des renseignements statistiques ou économiques ».

Je ne fais que rapporter ces doléances et je ne me suis naturellement pas livré à une enquête à ce sujet ; ce n'est d'ailleurs pas de mon rôle. Je pense, cependant, qu'il existe à ce sujet un certain malaise qu'il est dans l'intérêt de tout le monde de chercher à dissiper.

LE PRÉSIDENT. — J'ai encore une réponse. Je crois qu'il m'appartient à moi, professeur, de dire la vérité. Il ne faut pas rejeter la responsabilité sur le corps médical, car vous savez dans quelles conditions sont exploitées les stations thermales, en ce qui concerne la propriété de l'eau etc., et l'on n'est pas libre. Il y a tout de même, il faut le dire, un aspect commercial de l'exploitation des stations thermales. Ce n'est pas la première fois que j'entends dire qu'on ne fait pas faire ce que l'on veut aux sociétés hydrominérales. Il faut tout de même sortir de l'argent. Est-ce que les société hydrominérales gagnent beau-

coup d'argent, n'en gagnent pas beaucoup, ne peuvent pas faire tout ce qu'elles veulent ? Je n'en sais rien. Je ne suis pas employé du fisc ni chargé d'examiner ces questions-là, Tout cela est facile à dire, mais non pas facile à faire.

M. AUBIGNAT. — Je persiste à penser qu'une meilleure conservation de l'eau minérale, depuis le moment où elle est captée jusqu'au moment d'être utilisée, s'impose.

Les moyens pour y parvenir sont d'un coût peu élevé. Il ne s'agit pas de faire des dépenses énormes ; même des stations qui ne sont pas tellement en flèche pourraient, d'ores et déjà, entreprendre des réalisations dans ce sens. Si elles ne le font pas, c'est que personne ne le leur a demandé. Les établissements thermaux ne sont pas seulement des vendeurs d'eau sous une forme déterminée ; ils ont intérêt et ils désirent vivement aussi soigner leurs malades comme il le faut.

LE PRÉSIDENT DEBIDOUR. — Je voulais simplement dire à M. Aubignat qu'il faut distinguer dans l'eau, l'eau que l'on boit et l'eau que l'on utilise. Ce sont deux choses différentes.

Il n'est pas question, c'est bien évident, d'effectuer des conservations défectueuses. Mais même ce qui concerne l'usage externe, c'est peut-être moins important, et c'est là surtout je crois qu'il y a beaucoup de réserves à faire. Il faut faire des douches... je ne cite aucune station.

Je pense qu'il y a là deux aspects qu'il faudrait un peu disjoindre : d'une part la boisson, d'autre part les pratiques externes. Pour la boisson, tout à fait d'accord. Pour les pratiques externes, peut-être un peu plus de souplesse, je ne sais pas...

M. AUBIGNAT. — Dès le début j'ai bien dit : « en dehors de l'eau minérale à la buvette, qui généralement vient directement du griffon » ; l'eau prise en boisson échappe donc à la p'upart des critiques que j'ai exposées.

M. NINARD. — Je voudrais prendre la parole à propos de l'intervention faite par mon ami Aubignat, je lui renverrai d'ailleurs la balle tout à l'heure...

Il y a tout d'abord une chose qu'il faudrait bien préciser, c'est que l'on dit toujours : « On doit utiliser l'eau minérale, médicinale telle qu'elle sort du griffon. « C'est vrai dans la plupart des cas. Ce n'est pas vrai toujours d'ailleurs. Dans certains cas et même dans certains cas d'eaux sulfurées dont parlait tout à l'heure M. Morette, l'eau a une activité plus grande quand elle est transformée, quand elle a été l'objet d'une certaine métaplasie, Cela c'est un cas. D'autre part, évidemment, l'eau doit être utilisée en lui laissant suivre son évolution normale, et là c'est quelque chose de très important ; je suis de l'avis de M. Aubignat et je me suis battu pour cela depuis dix ans, mais je dois dire sans grands résultats. Car on doit adapter les techniques de cure à l'eau et non pas l'eau aux techniques de cure que l'on veut réaliser.

Je prendrai deux exemples. Dans beaucoup de stations, les exploitants ne disposent pas de la quantité d'eau qui serait nécessaire pour réaliser les techniques de cure indiquées, les grands bains par exemple. Alors là, ils ont tendance à transformer les techniques et à utiliser par exemple l'inhalation ou une autre technique, qui dépense moins d'eau. D'autre part, on ne doit pas réchauffer l'eau. Quand on a une eau froide, il ne faut pas, quand elle est trop froide, essayer de l'utiliser en bains. Ces bains seraient mal tolérés et la technique des bains doit être réservée aux stations qui disposent d'eau chaude. Ce n'est pas douteux. On ne doit pas réchauffer l'eau comme cela se fait dans beaucoup de stations.

Quelquefois, dans des stations où l'eau est à peu près à la température critique pour le bain, on peut la maintenir ; par exemple si vous disposez d'une eau à 36°, il ne faut pas la laisser se refroidir. On peut même l'empêcher de se refroidir en en maintenant la température.

Ceci amène à envisager une création qui était prévue dans la règlementation thermale, c'est-à-dire le contrôle des techniques de cure. Il y a évidemment beaucoup d'autorisations et de contrôles, déjà, mais je pense qu'il faudrait encore en ajouter une, c'est le contrôle des techniques de cure, ne pas laisser tout faire, et je vous donnerai un exemple. Dans une station qui est une station arsenicale, on utilise l'eau en électro-aérosols. On a trouvé cela intéressant, et toutes les stations veulent utiliser maintenant des électro-aérosols, même si cela n'est pas très indiqué. C'est le cas pour celles qui ont des eaux sulfurées en raison de l'oxydation favorisée par cette technique.

M. DE TRAVERSE. — Je voudrais dire simplement quelques mots concernant les deux rapports qui m'ont particulièrement passionné, non pas que les autres ne m'aient pas passionné, celui de M. Armand et celui de mon ami Desgrez.

La première station d'hydrologie date d'assez longtemps et il me semble qu'elle est depuis une époque déjà reculée, dans une bonne voie. En effet, vers les années 30, M. Armand étant à Clermont-Ferrand, je crois avec mon prédécesseur, M. Aubignat, s'intéressait beaucoup, il nous l'a rappelé tout à l'heure, aux eaux thermales. Il a été l'un des premiers, dans ses travaux avec Mme Blanquet, à souligner l'importance de l'équilibre ionique des eaux thermales, avec tout ce que cela a pour conséquence sur les obligations de ces eaux qui avaient été expérimentées, en particulier au Puy-de-Dôme.

En 1940 nous avons bataillé, et nous avons bataillé durement, pour montrer tout l'intérêt dans l'étude des eaux thermales, de ce que nous appelions la technique monographique et la notation ionique en milli-équivalents, la notion (Moller) en milli-volts,

et tout ce que l'on pouvait en tirer, non seulement au point de vue de l'étude des sources elles-mêmes, mais encore de l'étude même de l'action des eaux.

Eh bien Desgrez, avec cette passion et cette façon d'opérer, a fait le sujet d'un gros travail qui n'a même pas pu être publié en France ; il a été publié sous forme de volume dans une nation étrangère, je n'insiste pas.

Mais lorsque j'ai essayé, à Paris, de mettre à la portée des différents utilisateurs ces techniques, on m'a répondu que c'étaient des mathématiques et qu'on ne voulait pas en entendre parler.

LE PRÉSIDENT. — Oui, mais ce n'est pas spécial au thermalisme...

M. DE TRAVERSE. — Ces techniques nous sont revenues en 1945 avec le label « made in U.S.A. » et maintenant, tout le monde les utilise.

Mais je crois que ce que nous a dit M. Armand en terminant, et ce que nous a dit Pierre Desgrez, nous laissent entendre que nous sommes bien orientés en ce qui concerne l'étude précisément de cet équilibre dynamique dont aujourd'hui personne ne nie l'existence, et qu'en ce qui concerne l'action précisément des eaux thermales sur l'équilibre et sur l'équilibre ionique des cellules dont parlait si judicieusement Pierre Desgrez, il y a un travail très important à faire sur l'action de l'eau thermale.

LE PRÉSIDENT. — Justement, Monsieur de Traverse, je vous ferai remarquer qu'aujourd'hui il ne m'appartient pas de remercier les conférenciers, c'est au président Debidour, mais en tout cas nous devons le féliciter justement d'avoir organisé cette journée de sciences fondamentales. Il est simplement dommage, ayant tant de choses à dire, que l'on n'ait pu un peu mieux équilibrer ce temps qui nous a manqué. Et je crois qu'avec la séance de l'année dernière qui a été consacré entièrement à la statistique, et tout ce qui se fait depuis quelques années sous l'égide et le dévouement des présidents et secrétaires successifs de la Société Française d'Hydrologie et de Climatologie médicales, tout espoir est légitimé et tout va bien.

Fin des Communications consacrées à la séance Solennelle du 3 mars 1971 de la Société d'Hydrologie

---

REMISE DES PRIX

M. Louis ARMAND :

Je vais vous faire très rapidement un discours de prix, parce qu'il n'y aurait pas de prix sans discours.

Tout d'abord je suis heureux de constater que l'Hydrologie se renouvelle selon une formule moderne et avec une forte proportion féminine, puisque les femmes sont en majorité ce dont les hommes semblent ne pas s'être encore aperçus... C'est dû beaucoup à la médecine, étant donné que le monde moderne fabrique avant tout du Troisième Age et que dans ce dernier les femmes sont à ce point plus nombreuses que les élections futures se feront au profit des partis qui sauront s'assurer leurs suffrages. Cela nous changera par rapport à ceux qui flattent la jeunesse. Dans ce cas-là, il faudra vraiment compter sur cette fameuse proportion femmes-hommes, mais je vois que nous la préparons aujourd'hui avec la proportion des deux tiers.

Je crois donc que l'Hydrologie prend bien la voie de l'Hydrologie Renouveau, pour employer le langage à la mode.

J'ai parlé ce matin d'hydro-climatisme et je pense de plus en plus à la nécessité de créer des centres de santé équipés pour remettre dans les chemins de la régulation l'organisme humain, parce que, pour être heureux, il importe d'être bien régulé. Il ne faut pas ne pas avoir faim, ne pas être fatigué. Il faut avoir faim et manger, être fatigué et se reposer.

Une des grandes faiblesses de nos philosophies — si ce mot a encore une signification, ce que beaucoup

Remise des prix 1971 de la Société Française d'Hydrologie et de Climatologie Médicales par M. Louis ARMAND en présence du Dr André DEBIDOUR, Président de la Société.

ne pensent pas — est de croire qu'en évitant les efforts, on puisse arriver aux satisfactions, et c'est un peu la même chose pour la santé.

Quand les techniciens du Bureau d'Études du Créateur ont réussi à mettre au point les tétrapodes qui, quand ils levaient une patte, conservaient avec les trois autres un solide triangle de sustentation, ils avaient trouvé là une solution de facilité. Marcher sur deux pieds représentait un effort, un apprentissage d'équilibre que Paul Valéry a défini en ces termes : « La marche est une chute rattrapée » et de cet effort est née la satisfaction due à la conquête de cet équilibre.

Avec ce même sens de l'effort il faut développer autour des sources et des traditions hydroclimatiques celles-ci comptant parmi un certain nombre de modes de traitement, mais aussi et surtout où s'effectue la régulation par le milieu naturel et j'entends par là, en m'excusant de revenir sur ce point, une régulation qui soit à la fois reposante et stimulante pour le corps ainsi que pour l'esprit, à l'aide de moyens associés à la nature ; parmi ces derniers je citerai la promenade à pied, quitte à passer pour un esprit d'un autre âge.

Ainsi, par cette mise à contribution de la nature, lorsque votre Président a parlé, ce matin, de l'environnement, il est resté dans le vif du sujet. La prise de conscience des devoirs de l'homme vis-à-vis de la nature est certainement l'un des phénomènes les plus importants de ces dernières décennies : il est à la fois universel et irréversible. Il est difficile de hiérarchiser, dans l'époque où l'on vit, les phénomènes et cependant l'on peut dire, je crois, qu'il ne le cède pas en valeur à l'œcuménisme. Des esprits prospectifs pouvaient pronostiquer, il y a trente et même vingt-cinq ans, la bombe atomique ou l'arrivée des hommes sur la lune. Personne en revanche ne se serait risqué à prédire que le Pape se rendrait à Genève, que le Cardinal Béa ferait une conférence devant la statue de Calvin grandeur super-nature, etc. C'est vraiment là l'imprévu de notre temps !

Eh bien, à part un petit nombre de gens, dont je m'honore d'avoir été, qui, dès les années 50, s'en allaient vaticinant qu'on aurait sous peu à livrer de dures batailles contre les nuisances, personne ne s'était douté du mouvement absolument exceptionnel et irrésistible qui mobiliserait l'opinion pour la protection de la nature.

En s'intégrant davantage à la nature l'homme peut espérer non seulement « vivre plus » mais encore « vivre mieux ». Tels doivent être, comme on vous l'a très bien dit, les buts de l'Hydrologie.

***

Quand je recevais des prix, au temps où il y avait des diplômes, où le mot « sélection » n'était pas interdit — j'ai le plaisir de vous dire que j'ai reçu, entre autres, un prix d'hydrogéologie et que j'ai été par ailleurs, lauréat de l'Académie de Médecine pour mes travaux sur les eaux minérales ; ce fut même là mon premier titre académique — je me faisais cette réflexion qu'un jour viendrait peut-être où j'aurais, à mon tour, à remettre des prix et cela me paraissait se situer tout à la fin d'une vie. Lorsque je me voyais couronné par des vieillards barbus et chenus, je pensais : « Dire qu'on peut finir ainsi ! ». Eh bien, le temps est venu pour mois de finir ainsi et de remettre à mon tour, des prix dans les écoles où j'en avais reçus. Il me manquait, toutefois, d'avoir tenu ce rôle dans votre discipline et je vous suis infiniment reconnaissant, Monsieur le Président, de m'avoir permis de combler cette lacune.

***

Ce fut pour moi un plaisir d'autant plus grand que cette circonstance m'a rappelé les lauriers cueillis dans ma jeunesse, en ce domaine de l'hydrologie auquel j'ai continué à porter, depuis lors, beaucoup d'intérêt et d'attachement.

Informations

CONGRÈS

15e CONGRÈS INTERNATIONAL DE THALASSOTHÉRAPIE

Président : Monsieur le Professeur LEROY (France)

4e CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA MER

Président : Monsieur le Recteur LASALLE (Canada)

du 7 au 14 mai 1972

Dinard - Saint-Malo et Granville (France)

Le 4e Congrès International de la MER et le 15e Congrès International de THALASSOTHÉRAPIE se dérouleront pendant la semaine de l'Ascension 1972 sur nos côtes de la Manche, dans le cadre merveilleux de la Côte d'Émeraude et de la Baie du Mont-Saint-Michel.

Présidées par M. le Recteur Gérald LASALLE, de l'Université de Sherbrooke (Canada) et par M. le Doyen honoraire Denis LEROY, Président de la Fédération Thermale et Climatique de Bretagne, Président de la Fédération Internationale de Thalassothérapie et organisateur de ces Congrès, ces manifestations internationales, pour la première fois jumelées, doivent avoir un éclat exceptionnel et un retentissement mondial : plus de trente nations y seront représentées, tant sur le plan diplomatique que sur le plan universitaire, et de nombreuses personnalités du monde scientifique y présenteront des rapports ou communications dont le sommaire révèle déjà tout l'intérêt.

En outre, ces Congrès permettront à leurs participants, auditoire particulièrement choisi, de connaître ou de mieux connaître les différents aspects de la Bretagne et de la Normandie, car des circuits « pré et post-congrès » leur donneront la possibilité de visiter les Centres de Thalassothérapie nouveaux et nombreux dans nos régions, y compris ceux de notre côte Atlantique.

Pour tous renseignements complémentaires, écrire à la FÉDÉRATION THERMALE et CLIMATIQUE de BRETAGNE, 6, rue Lafayette, 35-RENNES. Tél. (99) 00-84-80, poste 464, ou (99) 59-16-04, poste 406.

COMPTE-RENDU

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE LA FÉDÉRATION MÉDICALE, THERMALE ET CLIMATIQUE PYRÉNÉENNE

tenue à BIARRITZ le samedi 25 septembre 1971

La Séance est ouverte à 11 h dans une salle du Casino municipal sous la présidence du Dr BONAFOUS, Président de la Fédération, assisté des Drs René FLURIN, Vice-Président, et W. JULLIEN, Secrétaire général.

Après l'adoption du Procès-verbal de la dernière assemblée, le secrétaire général fait l'éloge funèbre du Docteur MERCIER DES ROCHETTES, de Biarritz, ancien vice-président de la Fédération, décédé en mai dernier à Pechbonnieu en Haute-Garonne, où il s'était retiré.

On procède ensuite à l'admission du Dr LAQUÈCHE, du Nid marin d'Hendaye — et du Dr BRIOL fils, d'Eaux-Bonnes.

Et l'on passe à la communication du Dr FLURIN : « Les stations thermales pyrénéennes ont-elles un avenir ? Plaidoyer pour un thermalisme moderne ».

Une Station thermale forme un tout indissociable, organisé en fonction d'un but commun : la santé du curiste.

Le Dr FLURIN, envisageant l'ensemble des problèmes de la Station thermale d'un point de vue médical, détermine trois points : les atouts des Stations thermales françaises ; leurs lacunes et leurs faiblesses présentes ; les mesures à envisager pour l'avenir.

La richesse hydro-minérale si diversifiée de la chaîne pyrénéenne est une chance dont tous peuvent profiter grâce à la Sécurité sociale — mais la prise en charge du curiste par celle-ci devrait s'étendre aux pratiques annexes de la cure.

Les Établissements thermaux doivent être modernisés, et perdre leur caractère saisonnier.

L'Hôtellerie doit s'améliorer dans le sens de l'hébergement et de la diététique.

Les Municipalités doivent agir pour mettre en valeur les beautés naturelles, conserver et créer des espaces verts, éliminer les bruits, pour donner aux curistes les meilleures conditions de repos.

Enfin le Dr FLURIN préconise l'aménagement de Laboratoires pour faire sur place les bilans de santé courants.

De chaleureux applaudissements saluent ce remarquable exposé, et une vive discussion s'engage, à laquelle prennent une part active MM. les Drs BONAFOUS, Mme CHARTRES, les Drs COIQUI, LARAUZA et PEBERNARD, autour du Dr FLURIN.

A la fin de l'Assemblée, des regrets sont exprimés pour l'absence du Professeur DUBARRY, de Bordeaux et de M. TAMARELLE, causée par un retard de train malencontreux.

Docteur W. JULLIEN.

ANALYSE DE LIVRE

« Les stations balnéaires autrefois et aujourd'hui », par Elena BERLESCU. Editura Medicala, BUCAREST, Edit. 1971, 1 vol., 102 p.

Ce très intéressant ouvrage, qui vient de paraître à BUCAREST, est consacré à l'étude des stations hydrominérales roumaines. L'auteur rappelle, avec juste raison, les travaux du professeur A. TEOHARI qui fut l'un des premiers chercheurs en Hydrologie Expérimentale, puis ceux du professeur BALTACEANU, animateur de la Revue d'Hydrologie et de Climatologie de Bucarest, fondée en 1922.

Les traitements thermaux sont administrés dans plus d'une centaine de stations balnéaires, et 34 sources d'eaux minérales sont actuellement en exploitation en Roumanie. Les indications et contre-indications des cures ont été envisagées dans ce petit ouvrage, avec la plus grande attention. La réadaptation thérapeutique thermale a fait l'objet de plusieurs chapitres. Il en est de même des soins annexes, médications et diététique qui ne doivent pas être ignorés des curistes.

Cette mise au point du thermalisme était utile pour montrer combien la balnéologie a gardé une place importante en Roumanie, et bénéficie des installations les plus modernes.

ANNONCE

63 - CHATELGUYON. — Belle villa 14 pièces, jardin, confort, garage, quartier thermal. Location avec bail professionnel cessible. Conviendrait à deux médecins pour loger et exercer. Clientèle facile à créer. Dr ANGÉRAS, Tél. 449.

Directeur de la publication : Ch. DE LA FLÉCHÈRE. — Imprimerie GAIGNAULT - 36-Issoudun

N° d'ordre : 1 200. — Dépôt légal : 4e trimestre 1971

antibiotiques
et sulfamides
s'attaquent aux
germes

les corticoïdes
modifient le
terrain
temporairement...

les cures thermales transforment le terrain d'une manière durable

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'HYDROLOGIE ET DE CLIMATOLOGIE MÉDICALES
15, rue SAINT-BENOIT - PARIS 6e

appel

Sous un climat vosgien, tempéré, frais et tonique

L'EAU
QUI
GUERIT
LES
OS

BOURBONNE-LES-BAINS

(HAUTE-MARNE)

ses eaux
chaudes
radioactives
(66°)
chlorurées
sodiques

TRAITEMENT
DES

FRACTURES
RHUMATISMES

impotences fonctionnelles