

La Presse Thermale et Climatique

CRÉNOTHÉRAPIE EN ORL

(2^e partie)

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

THERMALISME AU SOLEIL ENTRE OCEAN ET MEDITERRANEE



gréoux

les-bains
en haute Provence

Rhumatismes, voies respiratoires O.R.L.
arthroses, traumatologie, arthrites.
Climat méditerranéen tempéré. Altitude 400 m.
Ouvert toute l'année.

amélie

les-bains
en Roussillon.

Voies respiratoires O.R.L. rhumatismes
Emphysème, rhino-laryngologie, pré-gérontologie.
Climat méditerranéen
Altitude 230 m.
Ouvert toute l'année.

la preste

les-bains
en haut Roussillon.

Affections génito-urinaires
lithiases, prostatisme, maladies du métabolisme, nutrition.
Altitude 1130 m.
Avril-Octobre

molitg

les-bains
en Roussillon.

Affections de la peau, voies respiratoires O.R.L.
rhumatismes, obésité, pré-gérontologie. Station-pilote de la relaxation.
Climat méditerranéen tempéré. Altitude 450 m.
Ouvert toute l'année.

barbotan eugénie st christau cambo

les-thermes
en Armagnac.

Station de la jambe malade
circulation veineuse, phlébite, varices.
Rhumatismes, sciaticques, traumatologie.
Station reconnue d'utilité publique.
Avril-novembre.

les-bains
Landes de Gascogne.

1^{er} Village minceur de France animé par Michel Guérard
Obésité, rhumatismes
rééducation, reins, voies digestives et urinaires.
Avril-octobre.

les-bains
en haut Béarn.

Muqueuses, dermatologie, stomatologie
Altitude 320 m.
Avril-octobre.

les-bains
en Pays basque.

Rhumatismes, voies respiratoires, O.R.L.
nutrition, obésité
Ouvert toute l'année.

demandez la documentation sur la station qui vous intéresse à :

maison du thermalisme

32 avenue de l'opéra 75002 paris. tél. 742.67.91+,
et société thermale de chaque station

stations agréées par la sécurité sociale

La place de la crénothérapie dans le traitement de l'otite chronique

R. CHARACHON *
(Grenoble)

Les modalités évolutives de l'otite chronique sont multiples et l'opposition entre l'otite chronique simple et l'otite chronique cholestéatomateuse reste toujours actuelle. Mais leur origine tubaire pratiquement constante ne doit jamais être perdue de vue malgré les progrès remarquables de la micro-chirurgie de l'oreille moyenne. L'omission du facteur tubaire avant la chirurgie, par précipitation, ou après la chirurgie, par défaut de surveillance post-opératoire à long terme, conduit à des échecs qu'il est difficile ou impossible de récupérer. La crénothérapie est une des armes dont dispose l'otologiste pour restaurer la fonction de la trompe d'Eustache et améliorer le terrain qui, souvent, conditionne ce dysfonctionnement. Nous allons tenter de préciser sa place d'abord dans les otites chroniques simples, puis dans les otites chroniques cholestéatomateuses.

Cette opposition est indispensable, non seulement sous l'angle clinique, mais aussi sous l'angle chirurgical. Les otites chroniques cholestéatomateuses comportent en effet une large pénétration d'épiderme dans l'oreille moyenne, source d'érosion osseuse et d'ostéite pouvant provoquer des complications au niveau du labyrinthe, du nerf facial et même à l'époque actuelle au niveau des sinus veineux, de la méninge et de l'encéphale. Leur chirurgie doit donc d'abord être une chirurgie d'éradication, éradication d'autant plus impeccable que la micro-chirurgie actuelle permet d'exécuter dans le même temps une tympanoplastie. Au contraire, les lésions de l'otite chronique simple sont des lésions muqueuses dont la guérison ne peut être

que médicale et serait entravée par la chirurgie. Dans ce cadre, la tympanoplastie ne comporte plus éradication et fermeture, mais est uniquement une chirurgie de fermeture et de restauration fonctionnelle exécutée après guérison médicale.

OTITES CHRONIQUES SIMPLES

A l'otite chronique évolutive, otorrhéique, doivent être rattachées les formes cicatricielles ou séquellaires dont certaines présentent des difficultés particulières comme les destructions partielles de la chaîne et les tympanoscléroses.

Otitis chroniques simples

L'interrogatoire précise leur évolution otorrhéique, variable, intermittente ou prolongée, indolente, sans fétidité sauf par défaut d'hygiène. Il doit préciser également le terrain rhinosinusien et général non seulement chez le malade mais dans sa famille.

Le caractère clinique le plus important de l'otite chronique simple est sa perforation non marginale dont la taille peut être variable, petite ou très vaste. L'otomicroscope qui doit être employé systématiquement en consultation est l'élément indispensable de ce diagnostic d'otite chronique simple en éliminant toute migration épidermique à partir des berges de la perforation ou toute poche de rétraction tapissant un fond de caisse que l'on croyait sain. Cependant, il est des migrations épidermiques très discrètes, soit à partir du manche du marteau sur le promontoire, soit à partir de la corde du tympan sur la branche descendante de l'enclume qui constitueront de petites difficultés

* Clinique O.R.L. du C.H.U. de Grenoble, B.P. 217 X, 38043 GRENOBLE CEDEX.

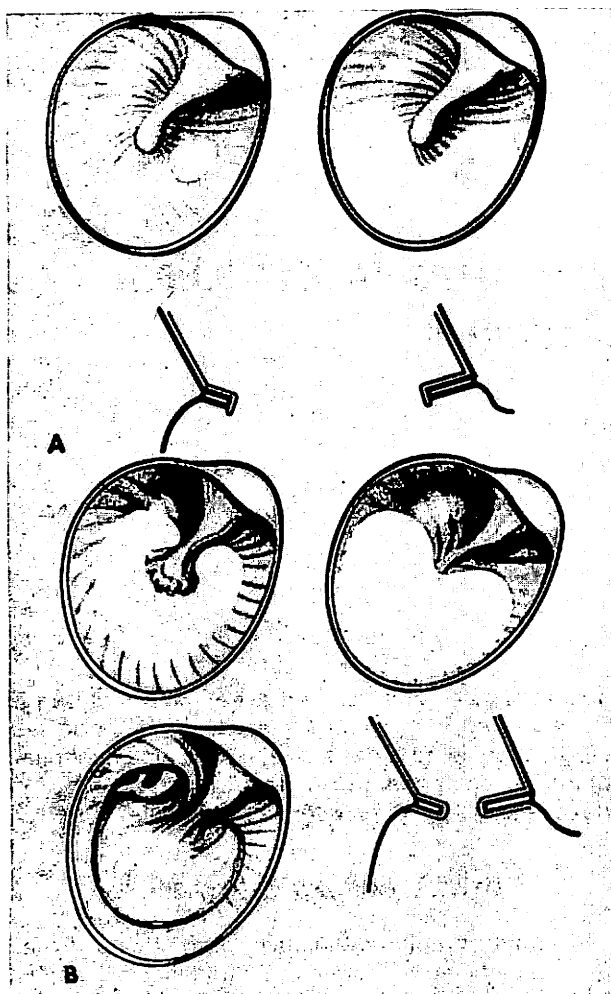


Fig. 1. — Perforations tympaniques « centrales » : A - Perforations simples. L'épiderme s'arrête au bourrelet fibreux épidermique bordant la perforation - B - Surprises possibles avec une perforation tympanique non marginale :

- de l'épiderme peut glisser sur le promontoire à partir du manche du marteau rétracté, ou de la région incudo-stapédienne ;
- l'épiderme peut enfin se glisser sur la face profonde du tympan surtout en cas de perforation traumatique.

opératoires mais ne font pas sortir l'oreille de ce cadre simple. La muqueuse du fond de caisse doit être appréciée, saine, œdémateuse, ou parfois bourgeonnante. Dans certains cas, un polype inséré sur la berge de la perforation doit être enlevé.

L'audiométrie apprécie l'état de l'oreille interne et le déficit transmissionnel qui s'atténue généralement en période d'assèchement si la chaîne est intacte. Si l'oreille est sèche, il est intéressant de préciser la fonction tubaire par une manométrie tubaire selon la méthode d'Holmquist.

La radiologie a peu d'intérêt. Une incidence de Schuller bilatérale peut être demandée dans les formes qui ont coulé longtemps, toutes modifications inviteront au cours d'une tympanoplastie à

vérifier les cavités postérieures qui peuvent être bourrées de granulomes à cholestérol.

Bien plus important est l'examen systématique de l'oreille opposée, des fosses nasales et du cavum. Un catarrhe tubaire chronique contro-latéral, une muqueuse nasale et un rhinopharynx humides, signent un trouble évident du terrain, venant renforcer ou suppléer la notion de rhinopharyngites et coryzas fréquents mise en évidence par l'interrogatoire.

Ainsi trois aspects peuvent être opposés, conduisant à des indications différentes.

Le premier aspect est le plus simple : l'otorrhée est apparue à l'occasion d'une baignade ou d'une grippe sur une oreille habituellement sèche qui va le redevenir rapidement grâce à un traitement le plus souvent local en évitant l'instillation d'oto-toxiques. Un traitement général n'est pas nécessaire. Par contre, une tympanoplastie, si le malade le désire, peut être envisagée après quelques mois de prudence.

Un deuxième aspect est plus sévère : l'otorrhée s'est installée plus ou moins récemment mais résiste au traitement. Rien ne permet de parler d'un terrain rhinopharyngo-tubaire prédisposé. Il faut éliminer mycose, tuberculose et diabète et identifier le germe responsable pour le traiter par une antibiothérapie adaptée. La voie générale peut être nécessaire. En outre, chez l'adulte, la bêthérapie tubaire peut être un appoint précieux grâce à la sonde de Crowe moderne, au strontium 90, qui n'émet que des rayons bêta. La restauration d'une manométrie tubaire normale peut être un bon guide pour fixer les délais d'une tympanoplastie qui par prudence peuvent être estimés à près d'un an.

Un troisième aspect doit être identifié pour subir un traitement adapté : l'otorrhée chronique avec terrain pathologique. Elle correspond à l'ancienne otorrhée tubaire. Les coryzas sont fréquents, voire incessants, souvent compliqués de sinusite ; la muqueuse des oreilles, des fosses nasales et du cavum est infiltrée et œdémateuse. Les deux oreilles sont atteintes. Dans certains cas, l'affection diffuse au niveau des bronches. Le traitement est avant tout général et doit associer vaccinothérapie et orénothérapie. Pendant celle-ci les insufflations tubaires ont le plus grand intérêt. La bêthérapie n'a qu'une valeur d'appoint. Les interventions chirurgicales ne peuvent qu'aggraver la situation et ne peuvent être envisagées qu'après de longues années si une stabilisation semble avoir été obtenue. Elles doivent être définitivement refusées dans certains cas.

Si l'on passe outre à ces conseils de prudence, les tympanoplasties sur otite chronique simple encore évolutive sont susceptibles de donner dans l'immédiat des fermetures tympaniques satisfaisantes, mais les résultats auditifs sont généralement

médiocres et l'évolution est habituellement péjorative, marquée d'épanchements séro-muqueux et de poches de rétraction, faisant basculer ces oreilles vers le cholestéatome.

L'âge ne vient que peu modifier ce schéma. Chez le jeune enfant, la chirurgie s'efface devant le traitement médical où la crénothérapie a la première place car elle donne là ses résultats les plus spectaculaires. Seuls peuvent être opérés dès l'âge de 7 ans les enfants parfaitement stables depuis de longues années. Toute tendance évolutive doit faire reporter la fermeture à l'âge de 10 ans ou après la puberté. Chez les sujets âgés, l'indication ne peut être que fonctionnelle et doit être admise si le malade le désire, au moins jusqu'à l'âge de 60 ans.

Otites chroniques séquellaires sans épidermisation

Elles peuvent être rattachées aux otites chroniques simples car le raisonnement thérapeutique est approximativement le même.

La perforation sèche, stable depuis de longues années, ne mérite qu'une fermeture chirurgicale qui doit être envisagée dans les limites d'âge que nous avons tracées. Elle est à conseiller chez les enfants à partir de 7 ans et chez l'adulte jeune car elle évite les infections par pénétration d'eau et les éventuelles migrations épidermiques.

Les interruptions de chaîne se limitent dans ce cadre à la nécrose de la branche descendante de l'enclume qui ajoute au cours d'une tympanoplastie de fermeture la nécessité d'une reconstruction de chaîne généralement résolue dans ce cas par une transposition de l'enclume. Les résultats de ces transpositions sont excellents si l'enclume est soigneusement ajustée sur le bouton de l'étrier et stabilisée par un ancrage plus ou moins sophistiqué sur le manche du marteau.

La tympanosclérose soulève des difficultés plus grandes, à la fois par le terrain qu'elle suggère et par la mise en œuvre de techniques chirurgicales plus délicates. L'explication de cette fibro-hyalinose de la sous-muqueuse semble s'orienter vers une affection auto-immune localisée. Cliniquement et pour schématiser, elle apparaît sous deux aspects : fraîche et encore évolutive d'une part, vieillie, stabilisée et en partie calcifiée d'autre part. Dans les formes fraîches, l'aspect succulent du fond de caisse et des restes tympaniques, le granulome à cholestérol antro-mastoïdien souvent retrouvé à l'intervention chirurgicale évoquent le point de départ tubaire et incitent à traiter la trompe avant de poser une indication chirurgicale. Chez l'enfant, cette temporisation sous traitement médical doit être particulièrement recommandée car la chirurgie de la tympanosclérose nécessite des manipulations ossiculaires complexes, sources éventuelles d'atteintes labyrinthiques que l'on sait particulière-

ment fréquentes chez l'enfant. Il est souhaitable d'attendre la puberté pour opérer une tympanosclérose. La crénothérapie avec insufflations tubaires viendra épauler la vaccinothérapie pour stabiliser ces oreilles.

La tympanosclérose stabilisée chez l'adolescent et l'adulte jeune peut être opérée sans attendre à la condition de ne rien faire qui compromette l'avenir. Il peut s'agir en effet de formes localisées bloquant marteau et/ou enclume, relativement faciles à résoudre par une transposition ossiculaire sur le bouton de l'étrier associée à la fermeture tympanique. Au contraire, si l'étrier est atteint de façon massive, il faut savoir reporter sa libération à un temps ultérieur et ménager les structures permettant d'ancrer un montage satisfaisant si une interposition s'avère nécessaire. Dans ce cas il faut en effet préférer libérer enclume et marteau et fermer le tympan pour pouvoir, deux ans plus tard au minimum, faire une interposition du type de l'otospongiose. Si l'étrier et la platine se révèlent indisséables, les résultats mécaniques et labyrinthiques d'une interposition sont meilleurs que si l'on cherche à tout prix à mobiliser un étrier dont le ligament annulaire sera perméable à la périlymphe et aux éventuelles « toxines » inflammatoires.

OTITES CHRONIQUES CHOLESTEATOMATEUSES

La pénétration d'épiderme dans l'oreille moyenne détermine une toute autre allure évolutive. La matrice du cholestéatome est constituée, outre de conjonctif emprunté à la muqueuse, d'épiderme ou épithélium malpighien kératinisant sans annexes comme la peau du conduit. Cette matrice desquame et forme l'amas cholestéatomateux plus ou moins sec ou macéré. L'accumulation des débris et la prolifération de la matrice envahissent progressivement toute l'oreille moyenne à partir du point de départ au niveau de l'attique externe ou de la partie postérieure de la caisse. L'inflammation de cette matrice produit des enzymes qui détruisent les osselets et les parois osseuses, usant notamment le canal semi-circulaire externe. En outre cette masse kystique bloque l'aération et le drainage de l'oreille moyenne, provoquant granulome à cholestérol et surtout ostéite. On conçoit donc la possibilité de complications sévères : paralysie faciale, labyrinthite ou même thrombo-phlébite du sinus latéral, méningite, abcès du cerveau ou du cervelet. Plus rare depuis les antibiotiques, leur éventualité demeure la base de l'impératif chirurgical dans le traitement du cholestéatome de l'oreille moyenne. Dans certains cas, le cholestéatome devient franchement invasif et se propage au rocher. Dans ces cas, une origine congénitale peut être évoquée.

En fait, le mécanisme habituel de formation du cholestéatome est la migration directe ou indirecte

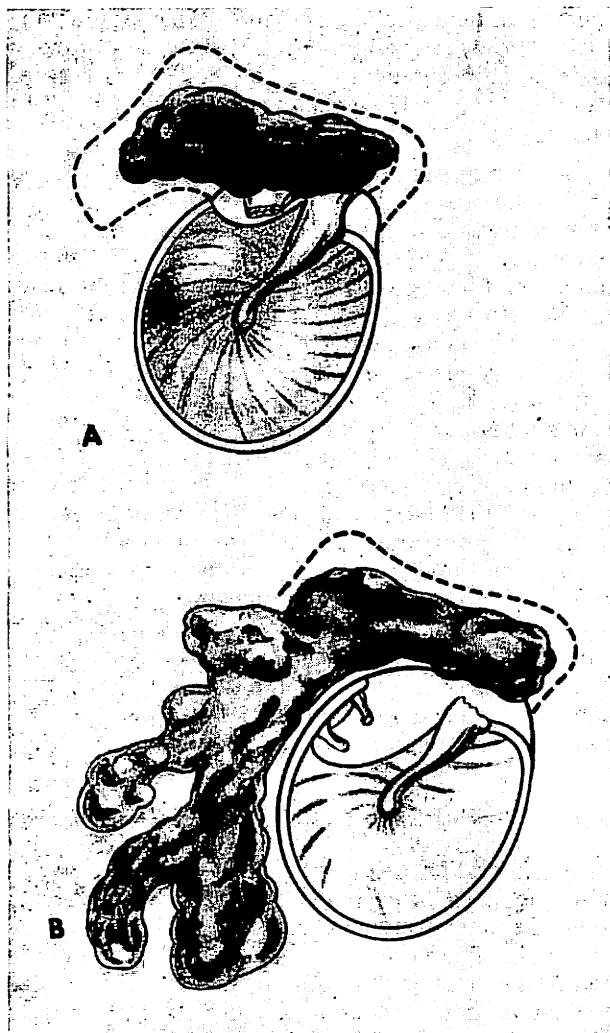


Fig. 2 — Principaux types de cholestéatomes : A - Cholestéatome attico-antral en sac ; B - Cholestéatome extensif antro-attico-mastoïdien dans une mastoïde encore pneumatisée.

à partir de la peau du conduit ou plus exactement du tympan. La migration directe s'effectue à partir des berges d'une perforation, comme nous l'avons vu. La migration indirecte, beaucoup plus fréquente, est provoquée par l'aspiration du Shrapnell ou de la pars tensa, généralement dans sa partie postérieure et supérieure. Ce mécanisme d'aspiration, même si on lui adjoint d'autres phénomènes, souligne l'importance de la pathologie tubaire dans la genèse du cholestéatome. Néanmoins, lorsque le cholestéatome est décelé, la pathologie tubaire initiale peut être guérie ; si elle persistait, elle reste au deuxième plan devant la nécessité d'extirper rapidement le cholestéatome. Il n'en est pas de même dans les états pré-cholestéatomateux que sont les poches de rétraction.

La poche de rétraction : état pré-cholestéatomateux

Ces poches de rétraction nous sont de plus en plus familières depuis la meilleure connaissance des otites séro-muqueuses. Elles apparaissent faute de traitement, ou malgré le traitement, tout spécialement dans la région postérieure de la caisse. Elles peuvent être décollables, au moins en partie, par l'insufflation, ou au contraire venir se mouler dans toute la gouttière postérieure de la caisse où elles adhèrent.

Dans l'un et l'autre cas, l'insuffisance tubaire est au premier plan et surtout chez l'enfant (et surtout si la poche semble partiellement se décoller) la crénothérapie a une large place en privilégiant le rôle mécanique des insufflations qui peuvent parvenir à décoller la poche de rétraction.

La bêtathérapie tubaire peut être associée chez l'adulte. La pose d'un aérateur transtympanique peut être un élément adjuvant après la cure.

Le traitement thermal prend ici un relief tout particulier. Il obtient parfois une restitutio ad integrum ; seules la surveillance et la poursuite de la crénothérapie seront nécessaires. Plus souvent, le décollement est partiel et la poche conserve sa morphologie venant s'accoler à la moindre dépression ; dans ce cas, après stabilisation tubaire, il devient souhaitable d'achever le clivage chirurgicalement, de placer un matériel de clivage dans la caisse et de renforcer la zone tympanique flaccide. Au contraire, si la poche reste accolée, a fortiori si elle suppure occasionnellement ou si la branche descendante de l'enclume est déjà nécrosée, une chirurgie analogue à celle du cholestéatome doit être pratiquée.

La chirurgie du cholestéatome

Le diagnostic de cholestéatome est fait à l'otoscopie sous microscope objectivant la pénétration de peau et de squames épidermiques soit au niveau du Shrapnell, soit au niveau d'une perforation postérieure. L'importance de la propagation du cholestéatome dans la caisse peut être appréciée parfois sous microscope lorsqu'un lobule vient soulever le tympan. Pour estimer la propagation dans l'os, la radiographie est nécessaire. L'incidence de Schuller permet de juger si la mastoïde est encore très pneumatisée ou au contraire éburnée. Dans quelques cas, une lacune importante peut être visible. La tomographie frontale permet d'apprécier l'existence éventuelle de propagation profonde. L'audiogramme ne peut que préciser la valeur de l'oreille interne car l'importance de la surdité transmissionnelle n'est absolument pas parallèle à la taille du cholestéatome. Le type de mastoïde et l'extension du cholestéatome vont peser sur l'indication thérapeutique.

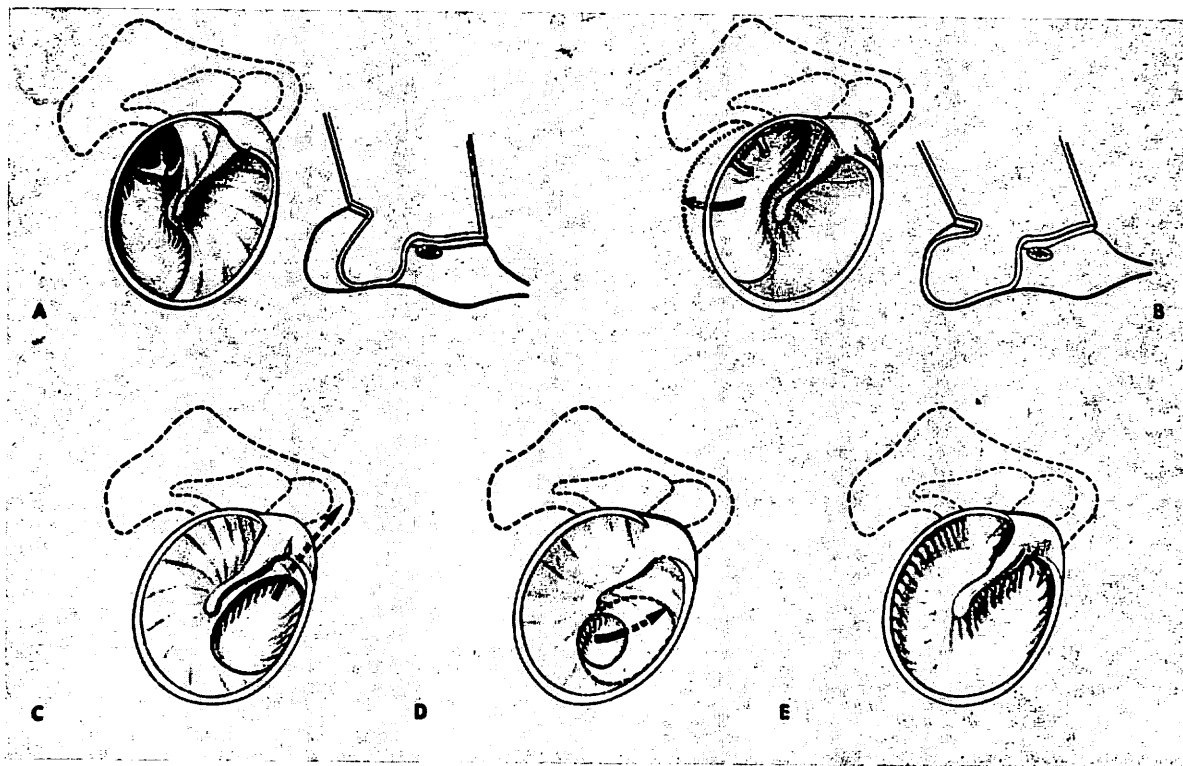


Fig. 3. — Différents types de poche de rétraction : A - Poche de rétraction postérieure respectant la gouttière postérieure de la caisse ; B - Poche de rétraction postérieure envahissant la gouttière postérieure de la caisse ; C - Poche de rétraction antérieure invaginée dans l'attique antérieur ; D - Poche de rétraction inférieure formant une hernie en direction de la trompe d'Eustache ; E - Poche de rétraction totale de la caisse.

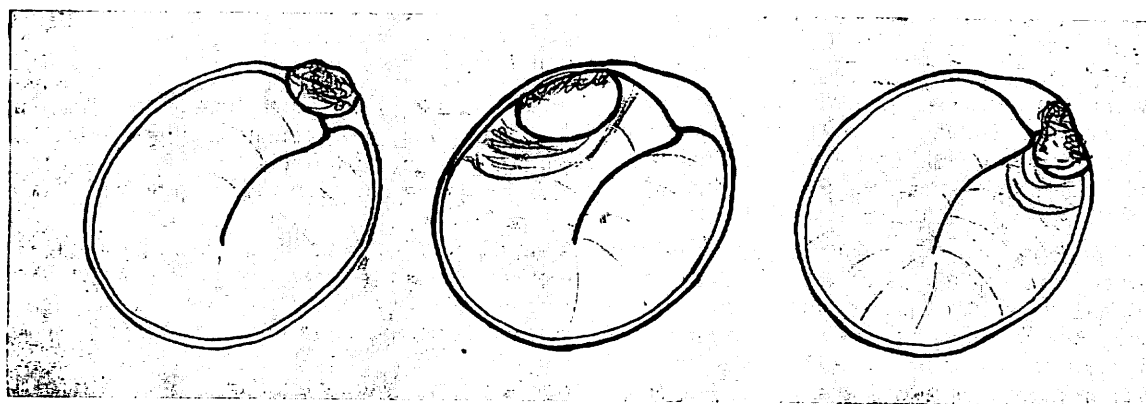


Fig. 4. — « Perforations » marginales typiques d'un cholestéatome. En fait il s'agit du collet du cholestéatome soit au niveau du Shrapnell soit au niveau de la région sous-ligamentaire postérieure ou inférieure.

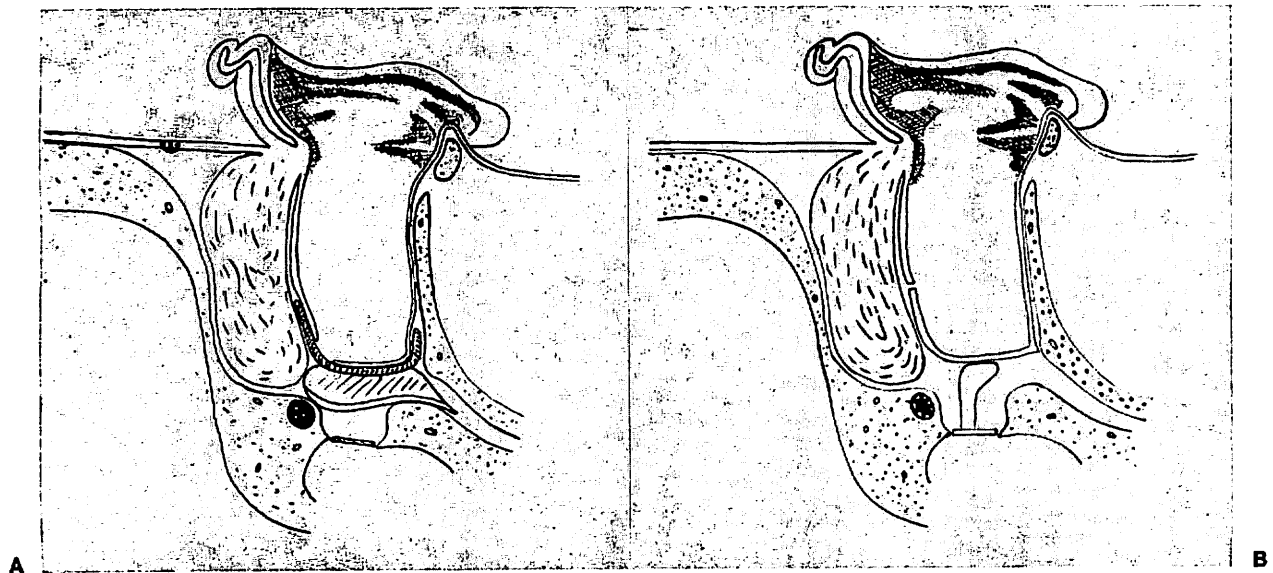


Fig. 5

A) Tympanoplastie en technique ouverte avec comblement par un lambeau fibromusculaire de Palva : état en fin de 1^{er} temps (coupe horizontale, segment supérieur de la coupe). Le conduit osseux est supprimé et la cavité doit être aussi régulière qu'un évidement bien fait (abaissement total du mur du facial, suppression du contrefort de l'attique antérieur, aplatissement postérieur et supérieur de la cavité au ras du sinus latéral et de la méninge pour réduire la profondeur à combler). Le comblement est assuré par un lambeau fibromusculaire prélevé lors de l'incision postéro-supérieure et laissé pédiculisé sur le conduit auditif externe. Le tympan est reconstruit. Si la caisse est malade et a dû être disséquée, du silastic épais est laissé sous la greffe de façon à éviter la symphyse de la caisse. Si la caisse est saine, une reconstruction de chaîne peut être pratiquée d'emblée et ce type de tympanoplastie peut être alors réalisé en un temps.

B) Tympanoplastie en technique ouverte avec comblement par un lambeau fibromusculaire de Palva : état en fin de 2^e temps (coupe horizontale, segment supérieur de la coupe). Lors du 2^e temps, seule la caisse est ouverte par la taille d'un lambeau tympano-pariétal mordant sur le comblement musculaire. En règle, le lambeau fibromusculaire n'est pas soulevé car le bénéfice du comblement pourrait être perdu. La voie d'abord du 2^e temps est le conduit. Il n'y a donc pas de possibilité d'enlever une perle résiduelle qui se trouverait sous le lambeau. Le silastic est enlevé, une perle de cholestéatome résiduel peut être supprimée dans la caisse. Une reconstruction de chaîne est effectuée dans des conditions de stabilité satisfaisantes entre le tympan reconstruit lors du 1^{er} temps et l'étrier ou la platine. Le matériel de reconstruction est ici une columelle en cartilage prélevée sur le tragus ou la conque, placée entre le tympan et la platine.

Les otologistes disposent actuellement de trois types de techniques pour traiter les cholestéatomes, techniques s'ajoutant à l'évidement pétro-mastoïdien qui reste indiqué dans certains cas, en particulier pour traiter le foyer otologique dans les complications majeures (abcès encéphaliques, thrombophlébite du sinus latéral, méningite) et chez les sujets âgés.

La tympanoplastie en technique ouverte dérive directement de l'évidement dont elle a la même cavité; la reconstruction comporte simplement la fermeture de la caisse et un système columellaire simplifié. Une méatoplastie est nécessaire.

La tympanoplastie en technique ouverte avec comblement des cavités postérieures comporte la taille d'une cavité identique et une reconstruction de la caisse mais en outre une reconstruction des cavités postérieures par un comblement. Cette reconstruction plus abondante permet d'envisager un clivage temporaire de la caisse par du silastic pour guider la reconstruction de la muqueuse si celle-ci a dû être sacrifiée. Dans ce cas, un deuxième

temps de vérification de la caisse et de reconstruction de chaîne peut être envisagé 12 mois après la première intervention. Ce deuxième temps ne soulève pas le comblement sous peine d'entraîner sa disparition partielle. Cette technique exige donc une exérèse absolument totale du cholestéatome sous peine de réaliser une inclusion potentiellement dangereuse.

La tympanoplastie en technique fermée, apparue il y a une vingtaine d'années, conserve les parties supérieures et postérieures du conduit auditif osseux et exige l'artifice d'une tympanotomie postérieure taillée entre le facial et le sulcus osseux pour assurer la continuité de la dissection du cholestéatome. En fin d'intervention, le tympan est refermé et la reconstruction de l'oreille est donc voisine d'une anatomie normale. L'expérience ayant montré que le risque de cholestéatome résiduel derrière cette reconstruction est de l'ordre de 25 à 30 p. cent, le principe d'un deuxième temps de vérification systématique 18 mois plus tard est actuellement acquis. De ce fait, une lame de clivage

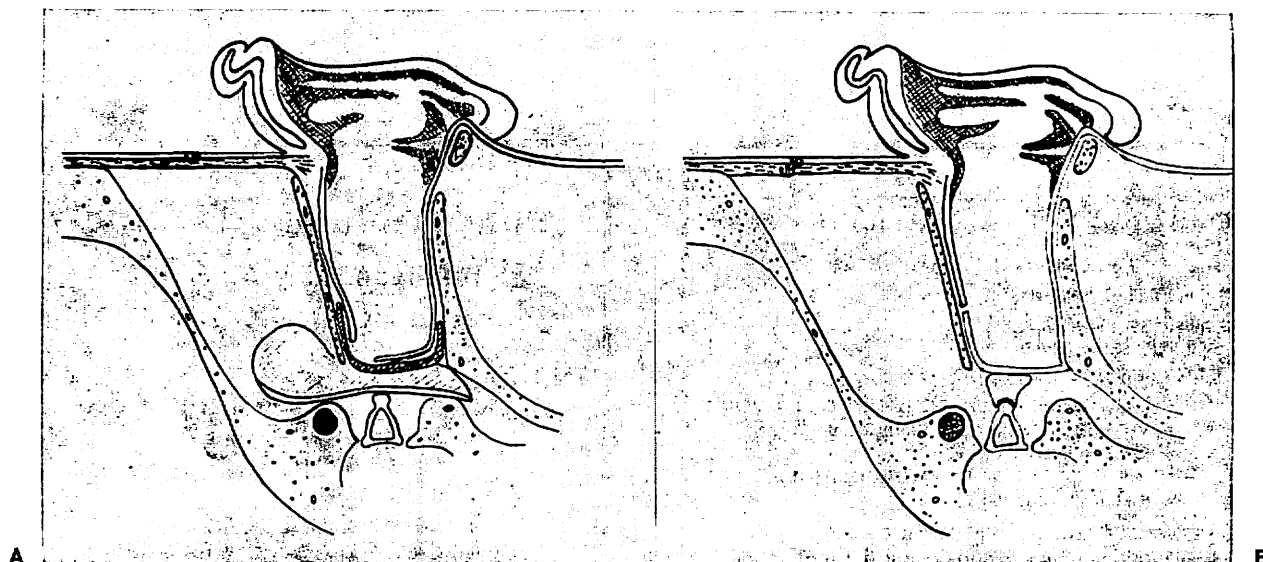


Fig. 6

A) Tympanoplastie en technique fermée pour cholestéatome de l'oreille moyenne : état après le 1^{er} temps (coupe horizontale, segment supérieur de la coupe). Le conduit osseux est conservé et la continuité de la dissection est assurée par la taille d'une tympanotomie postérieure entre le coude et la 3^e portion du nerf facial (en arrière et en dedans) et la partie postérieure du cadre d'insertion du tympan (en avant et en dehors). Le tympan est reconstruit et une lame de silastic épais est placée dans toute l'oreille moyenne pour guider la repousse de la muqueuse à partir des zones saines respectées, évitant ainsi symphyse et rétraction de la greffe. Dans certains cas, le silastic utilisé est plus mince et perforé, permettant une reconstruction de la chaîne ossiculaire lors de ce 1^{er} temps.

B) Tympanoplastie en technique fermée pour cholestéatome : état après le 2^e temps (coupe horizontale, segment supérieur de la coupe). Les cavités postérieures sont vérifiées par la reprise de l'incision cutanée ; la tympanotomie postérieure permet de vérifier l'état de la caisse jusqu'à la trompe d'Eustache. Un montage ossiculaire est effectué (ici une transposition d'enclume sur le bouton de l'étrier), soit par la tympanotomie postérieure, soit, comme sur le schéma, en relevant un lambeau tympano-métal par la voie du conduit. Ce 2^e temps, pratiqué 18 mois plus tard, permet surtout d'enlever une éventuelle perle de cholestéatome résiduel, source inévitable de récurrence à long terme mais dont la suppression assure une sécurité définitive.

en silastic est volontiers placée dans toute l'oreille moyenne lors du premier temps pour guider la repousse de la muqueuse et éviter une symphyse post-chirurgicale. Cette lame est enlevée lors du deuxième temps et une chaîne plus ou moins simplifiée est reconstruite.

Choisir l'une de ces techniques n'est pas indifférent si persiste une insuffisance tubaire. Dans une technique ouverte ou une technique ouverte avec comblement, l'effet d'une insuffisance tubaire se limite à la symphyse progressive de la caisse avec ou sans otite séro-muqueuse. Il est rare que se forme une poche de rétraction glissant de haut en bas sous la reconstruction tympanique. De toute façon, cette poche a peu de conséquences. Au contraire, la persistance d'une insuffisance tubaire après une tympanoplastie en technique fermée conduit, si elle est négligée, à l'apparition d'une poche de rétraction qui se glisse progressivement sous le conduit osseux pour former un nouveau cholestéatome. C'est donc dire que la seule prévention de cette récurrence va être conditionnée par une surveillance médicale post-opératoire à long terme

et assurée par le traitement de l'insuffisance tubaire. La meilleure arme à notre disposition est la crénotherapie à laquelle s'ajoute le rôle mécanique de l'insufflation tubaire. Chez l'adulte, la bêthérapie tubaire peut être associée à la crénotherapie.

CONCLUSION

Il est actuellement facile d'affirmer que les progrès de la micro-chirurgie de l'oreille moyenne nous ont non seulement appris à mieux connaître la pathologie de l'oreille moyenne dans ses détails, mais ont également apporté une exigence de surveillance à long terme des résultats. C'est de façon très précise que la place de la crénotherapie peut être actuellement définie. Elle a un très grand rôle dans la stabilisation des otites chroniques simples où elle doit être souvent poursuivie de longues années avec obstination avant toute décision chirurgicale. Elle a également un très grand rôle dans le traitement des états pré-cholestéatomateux et dans la stabilisation post-opératoire des oreilles opérées de cholestéatome.

cauterets (65110) alt. 1000 m

**CÛRES THERMALES
TOUTE L'ANNEE**

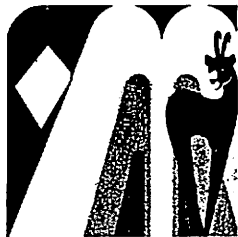
**10 SOURCES THERMALES
SULFUREES SODIQUES ET
7 ETABLISSEMENTS DE SOÏNS**

- MALADIES DE LA GORGE ET DE LA VOIX,
- AFFECTIONS NASO-SINUSIENNES
ET BRONCHIQUES,
- AFFECTIONS TUBO-AURICULAIRES,
- RHUMATOLOGIE.

EQUIPEMENT THERAPEUTIQUE MODELE :

Douches pharyngiennes, insufflations tubaires, humages, aérosols, méthode de Proëtz, douches nasales et rétro nasales, rééducation respiratoire et cures déclives.

Renseignements : CLIMAT DE MONTAGNE au cœur du
(62) 92.50.27 PARC NATIONAL DES PYRENEES
92.51.60



capvern (65130) alt. 480 m

les bains

2 mai - 15 octobre

**2 sources sulfatées calciques
magnésiennes, radioactives**

- AFFECTIONS URINAIRES ET RENALES.
- AFFECTIONS HEPATO-BILIAIRES.
- MALADIES DE LA NUTRITION.
- SEQUELLES DES AFFECTIONS TROPICALES.

Bains thermo-gazeux et carbo-gazeux, massages sous l'eau

Climat de moyenne altitude, à la fois tonique et sédatif

Renseignements : 16-62 39.00.02 Société thermale
16-62 39.00.46 Syndicat d'Initiative

monographies d'urologie

publiées par A. STEG
et L. BOCCON-GIBOD

2

La prostate

sous la direction de
L. Boccon-Gibod et A. Steg

★

Il y a quinze ans, la question « quoi de neuf en pathologie prostatique » ne suscitait chez un maître de l'urologie qu'un laconique « rien ». Pareille réponse ne serait plus possible aujourd'hui. C'est la raison d'être de cette seconde livraison des monographies d'urologie.

★

Un ouvrage 17,5×22,5
200 pages, 58 figures

Prix en nos magasins : 110 F
franco domicile : 119 F

★

Rappel :

Monographies d'Urologie n° 1 :
« Tumeurs du rein »

En vente chez votre libraire spécialisé habituel
ou à l'Expansion Scientifique Française
15, rue Saint-Benoît, 75278 Paris Cedex 06

Muqueuse pituitaire et cure thermique sulfurée *

Etude expérimentale au microscope électronique

Jacques DARROUZET **

(Luchon)

Que la cure thermique sulfurée soit capable d'améliorer le sort des malades qui nous sont confiés est un fait bien établi, cliniquement et statistiquement. Mais ce type d'affirmation ne suffit plus à notre époque de rigueur scientifique de plus en plus contraignante.

Existe-t-il une possibilité d'expliquer le processus biologique par lequel la cure combat efficacement la maladie ? C'est très vraisemblable, mais il s'agit, à n'en pas douter, d'une vaste entreprise, longue, difficile, qui nécessitera le concours de beaucoup de bonnes volontés, et d'encore plus de connaissances.

Le présent travail n'a pas d'autre prétention que d'explorer une voie de recherche supposée capable d'apporter des éléments de réponse. Il n'est fait que de constatations objectives, établies en dehors de tout préjugé et même de toute hypothèse de travail. Il n'est pas le premier de cette sorte. Nous pourrions donc comparer nos résultats à ceux des autres chercheurs.

MATERIEL ET METHODES

Nous aurions souhaité appliquer à nos animaux d'expérience les soins thermaux tels que nous les pratiquons sur l'homme. Mais bon nombre de ces soins n'étaient pas disponibles durant l'hiver 79-80, les appareils étant provisoirement désaffectés pour travaux d'entretien. Nous avons donc appliqué deux

catégories de soins : les lavages des fosses nasales à l'eau thermique et le séjour en vaporarium.

— Un premier groupe de 10 cobayes (groupe L) a subi, tous les jours sauf le dimanche, un lavage des fosses nasales, pratiqué à l'eau thermique sulfurée isotonisée, avec un compte-gouttes capable de faire circuler l'eau dans les fosses nasales très étroites de l'animal (16 séances).

— Un deuxième groupe de 10 cobayes (groupe V) a subi, tous les jours sauf le dimanche, une séance de radio vaporarium sulfuré de 5 minutes la 1^o semaine, 10 minutes la 2^o semaine, 15 minutes les 3 derniers jours, soit 15 séances au total.

— Un troisième groupe de 3 cobayes (groupe N) n'a subi aucun traitement.

— En cours d'expérimentation, 3 animaux du groupe L et 3 du groupe V sont morts.

Dès la fin de l'expérimentation, les animaux ont été transportés au Laboratoire d'Audiologie expérimentale de Bordeaux. Le 1^{er} février 1980, nous avons sacrifié 5 cobayes du groupe L, 5 du groupe V, et 3 du groupe N. Le 14 février, soit 15 jours après la fin de l'expérimentation, ont été sacrifiés 1 cobaye du groupe L et 2 du groupe V.

Chaque fois, un fragment de la muqueuse de la cloison nasale a été prélevé avec son socle cartilagineux. Cette méthode nous a donné quelques mécomptes car la muqueuse est peu adhérente au cartilage et s'en détache facilement. Certains prélèvements n'ont pu de ce fait être exploités convenablement.

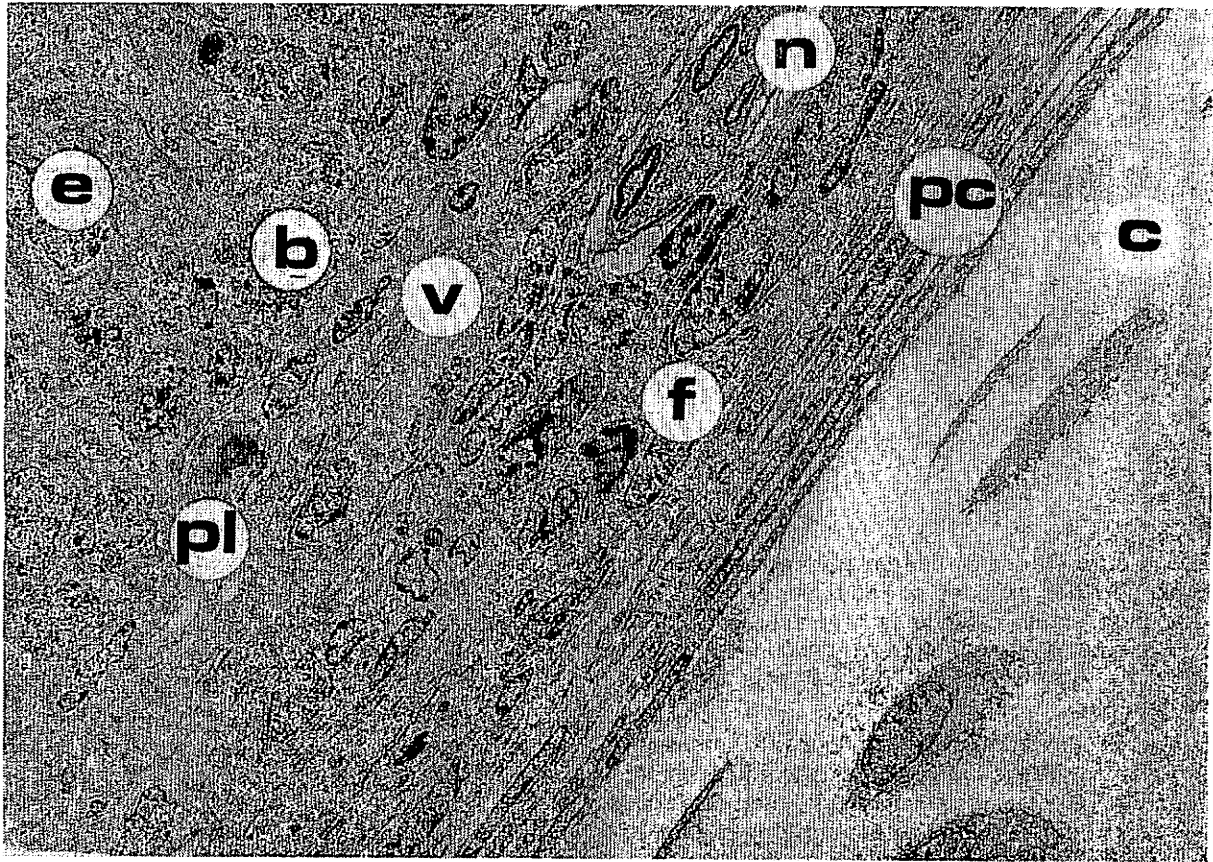
Les fragments ont été traités selon la méthode habituelle : fixation, inclusion, coupe semi-fine, vérification au microscope à contraste interférentiel, coupe ultrafine, coloration. Les examens au microscope électronique ont été faits au Centre de microscopie électronique de l'Université de Bordeaux II.

* Travail du Laboratoire d'Audiologie expérimentale, Université de Bordeaux II, du Centre de Microscopie Electronique de l'Université de Bordeaux, réalisé avec le soutien de la Société Médico-Thermale de LUCHON.

** Ancien Chef de Clinique ORL, Adjoint à la Faculté de Bordeaux, consultant à LUCHON.

L'auteur remercie bien vivement tous ceux qui l'ont aidé dans ce travail :

Le Directeur et le personnel des Thermes de Luchon, Madame Guilhaume, technicienne d'Histologie et Monsieur le Professeur Vital, Directeur du Centre de Microscopie Electronique.



RESULTATS

Groupe N

Chez les animaux non traités, nous retrouvons l'ultrastructure normale souvent décrite, soit, de la superficie vers la profondeur :

- une couche de cellules épithéliales pourvues de Kinocils, les unes à cytoplasme clair, les autres à cytoplasme sombre avec un apex caliciforme, les deux types cellulaires alternant assez régulièrement ;
- une couche de cellules basales prêtes à « s'éti-rer » pour remplacer les cellules superficielles ;
- une membrane basale ;
- un chorion assez lâche avec des fibroblastes, des vaisseaux, des glandes à mucus, des fibres nerveuses, et de très rares lymphocytes et plasmocytes ;
- le péri-chondre ;
- le cartilage septal (fig. 1).

Groupe L

Chez les cobayes traités par lavage, on pourrait s'attendre à une altération de la ciliature mais il n'en est rien : celle-ci est intacte. En revanche, on

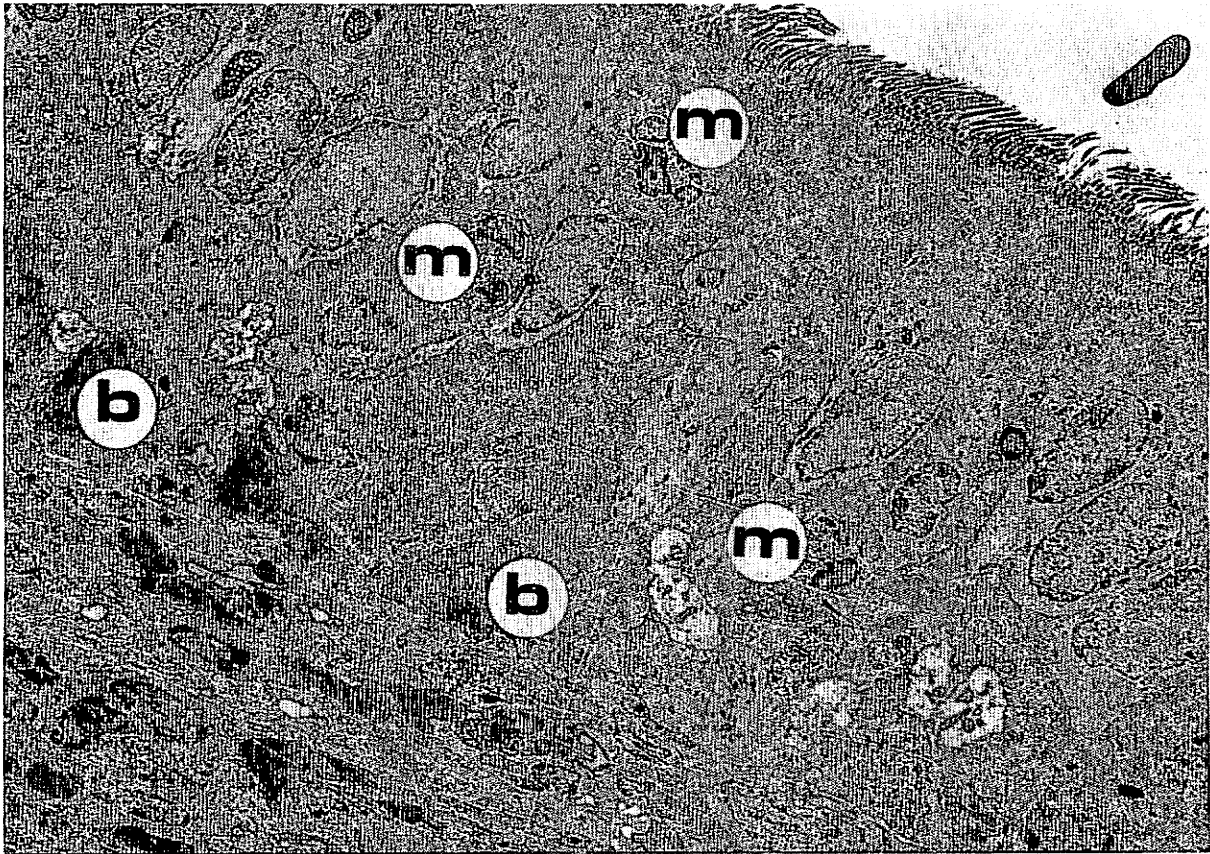
Fig. 1. — Cobaye normal CN 402. GR × 910. Le pôle supérieur des cellules épithéliales (e) n'est pas apparent. Sont visibles : les cellules de l'assise basale (b), le chorion avec des fibroblastes (f), des vaisseaux (v), une fibre nerveuse (n), de rares éléments lymphatiques dont un seul plasmocyte (pl), le péri-chondre (pc) et le cartilage de la cloison (c).

Fig. 2. — Cobaye Groupe L N° 392. GR × 910. Les interstices entre les cellules épithéliales sont envahis par des macrophages (m) venus du chorion. Les cellules basales (b) sont moins nombreuses : elles se mobilisent pour remplacer les cellules épithéliales détruites.

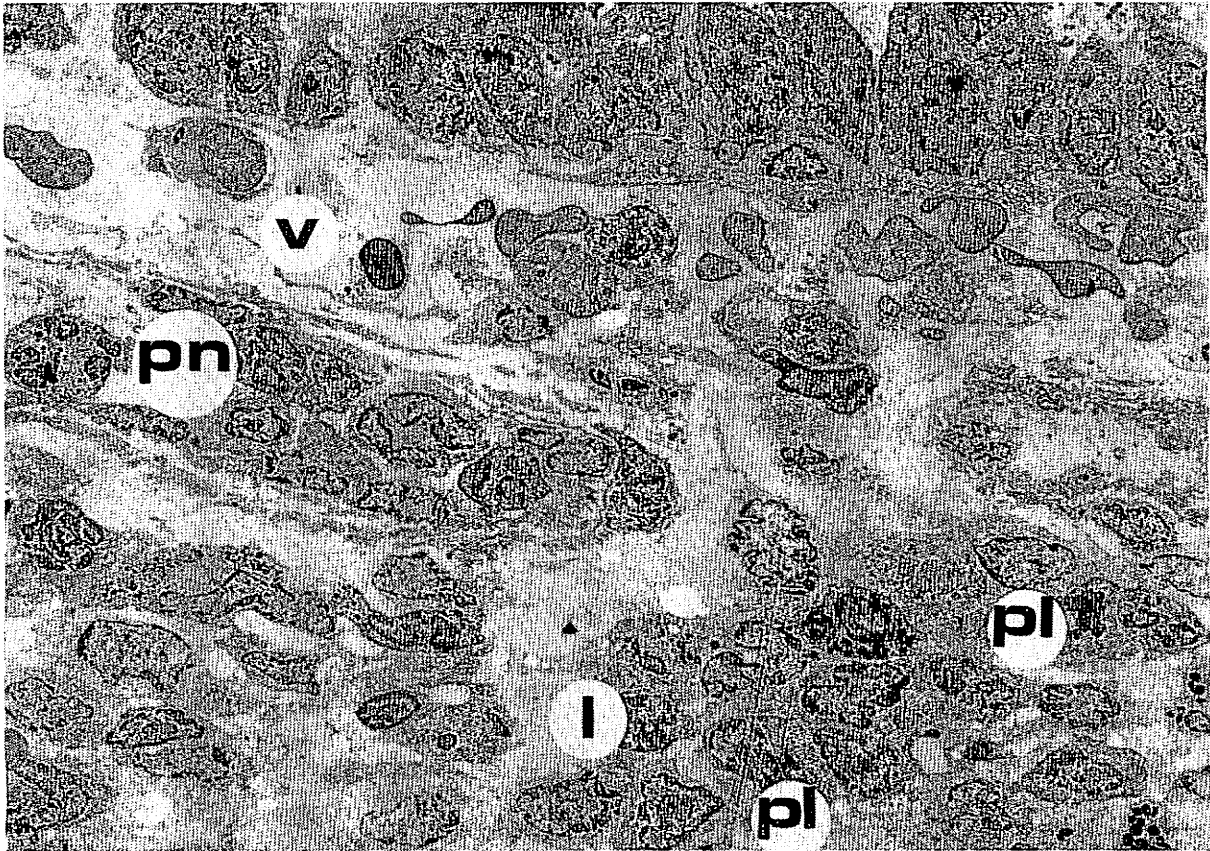
Fig. 3. — Cobaye Groupe L N° 394. GR × 910. Aspect nettement inflammatoire du chorion : vaso-dilatation (v), œdème, infiltration par polynucléaires (pn), lymphocytes (l), rares plasmocytes (pl).

trouve de nombreux signes d'une réaction inflammatoire :

- au niveau des cellules épithéliales, des lymphocytes et des macrophages dans les interstices séparant les cellules de revêtement (fig. 2), et les sécrétions muqueuses paraissent augmentées ;
- et surtout au niveau du chorion : capillaires dilatés, présence de nombreux polynucléaires et lymphocytes ainsi que quelques plasmocytes (fig. 3).



2



3

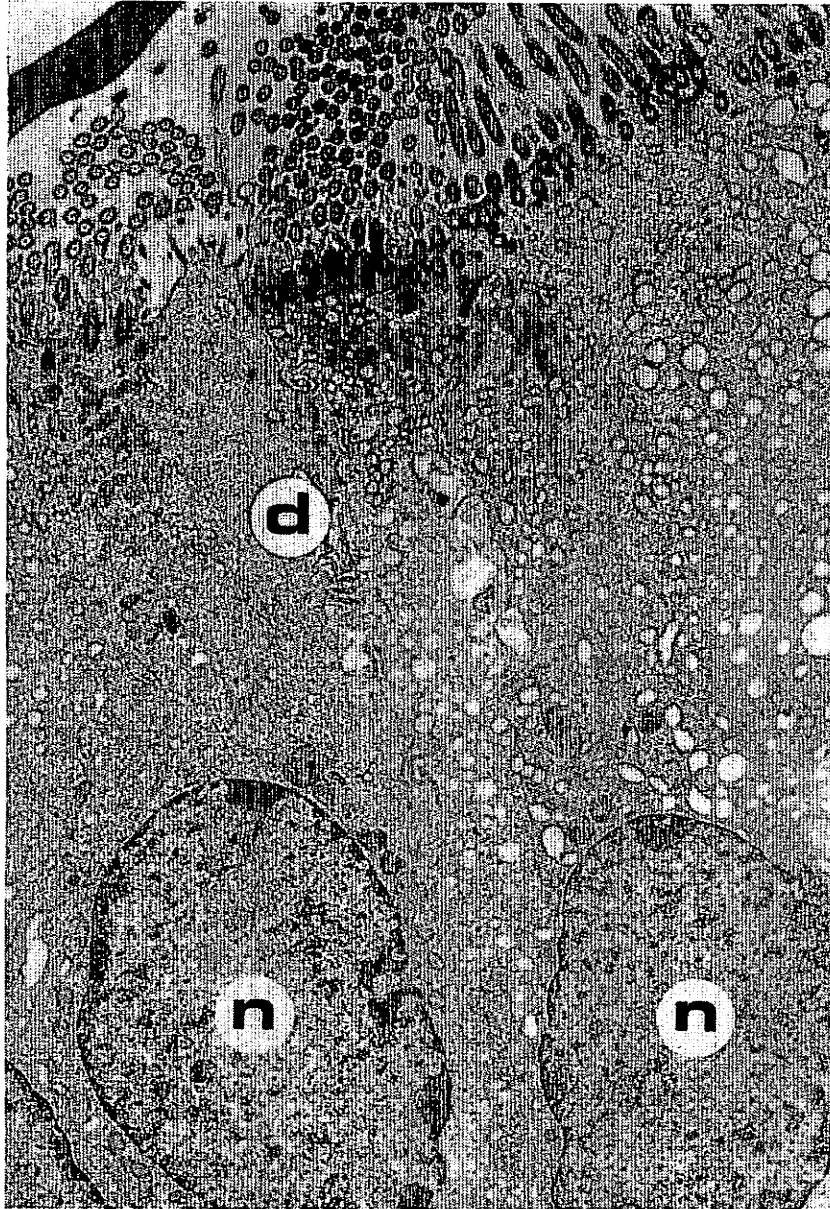
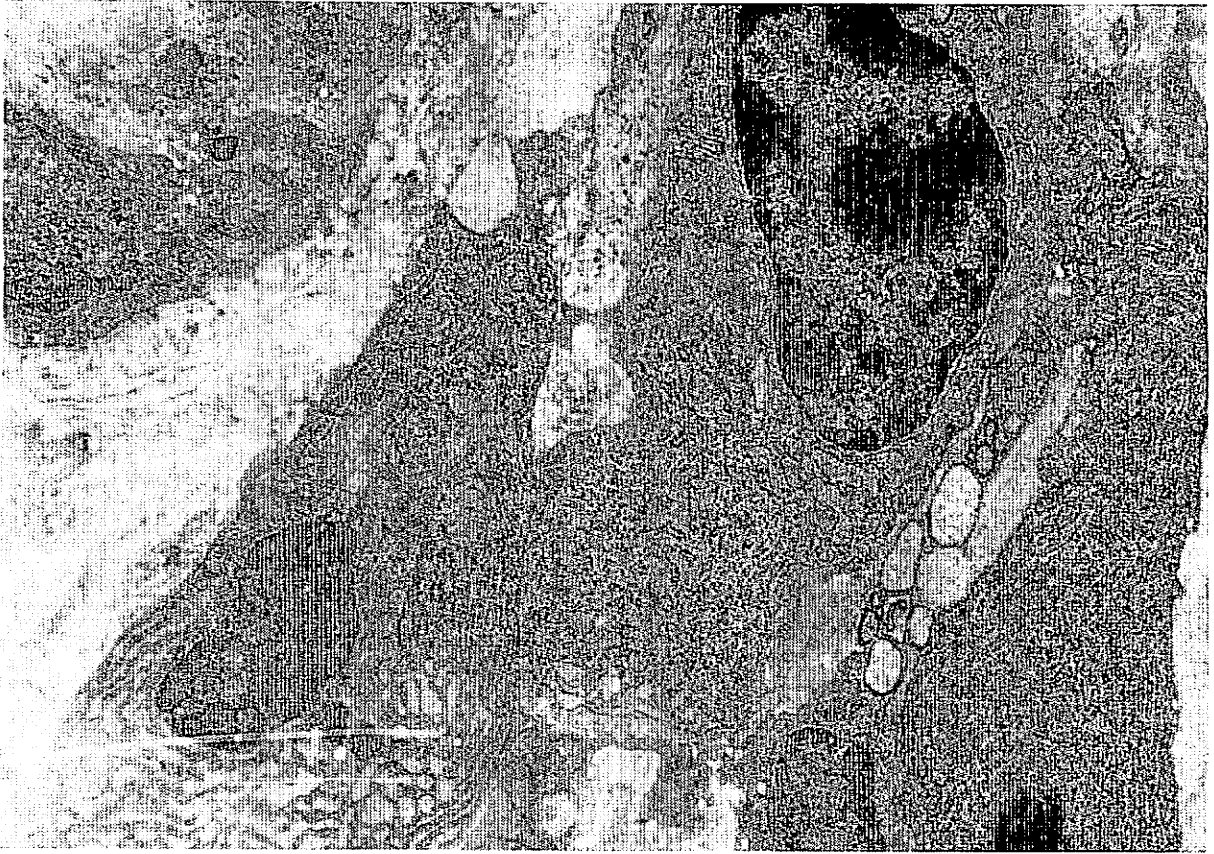


Fig. 4. — Cobaye Groupe V N° 401. GR × 2500. Ciliature intacte, mais épithélium altéré : nombreuses vacuoles cytoplasmiques, noyaux pycnotiques (n), expulsion de cellules dégénérées (d).

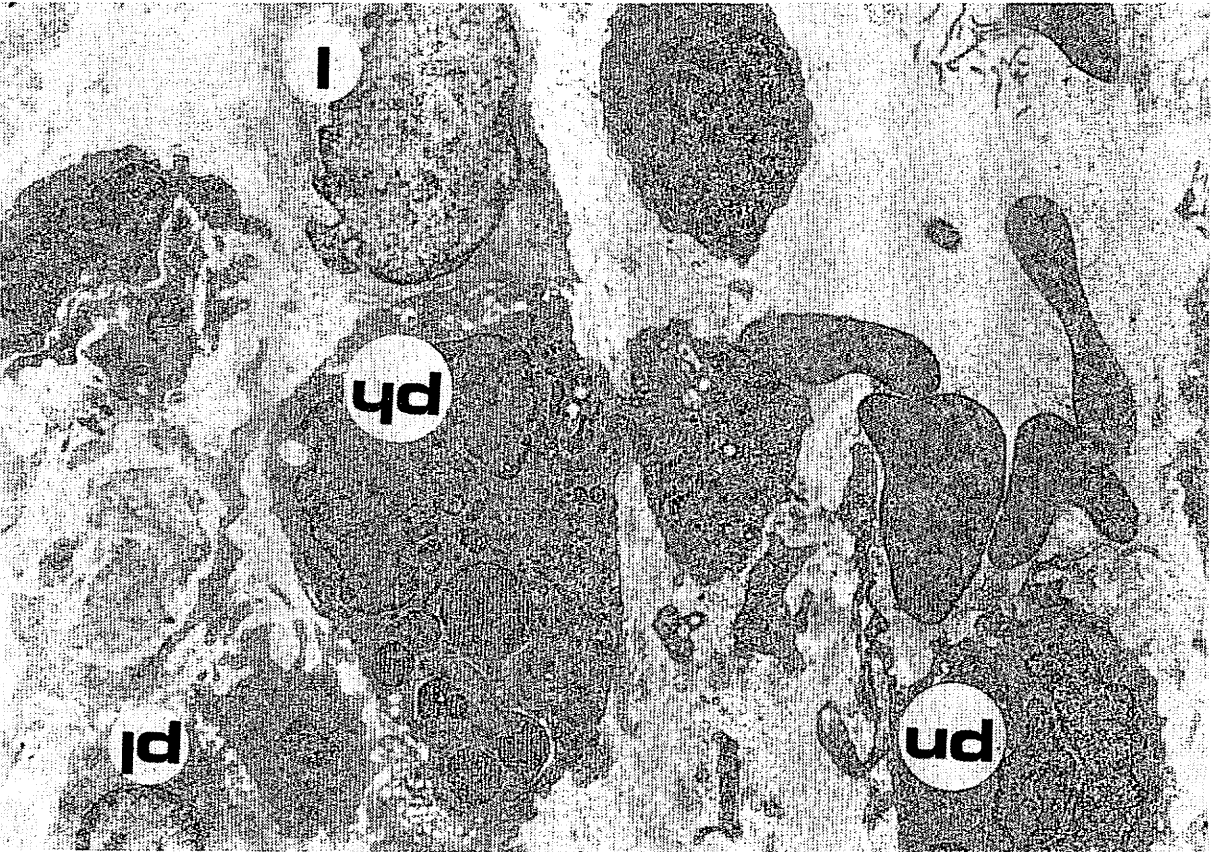
Fig. 5. — Cobaye Groupe V N° 398. GR × 2500. Chorion inflammatoire, infiltré par des polynucléaires (pn), des lymphocytes (l) et plasmocytes (p). Image de phagocytose (ph).

Fig. 6. — Cobaye Groupe L + 14, N° 406. GR × 4500. Concentration de plasmocytes dans le chorion.

6



5



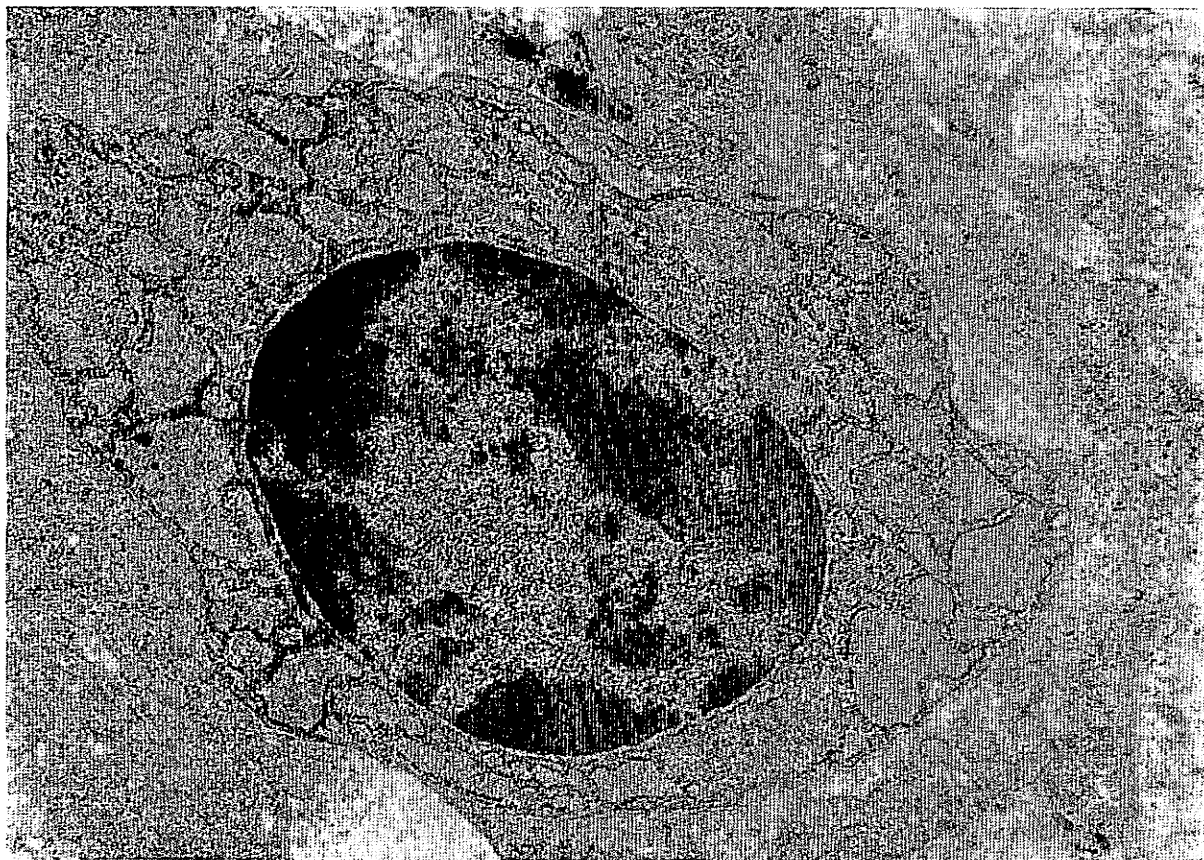


Fig. 7. — Cobaye Groupe L + 14, N° 406. GR × 9100. Plasmocyte gorgé de protéines.

Groupe V

Les animaux traités au vaporarium conservent généralement leur ciliature, mais la réaction inflammatoire paraît encore plus intense :

— au niveau épithélial, un processus dégénératif est en cours : nombreuses vacuoles cytoplasmiques, pycnose des noyaux (fig. 4) ;

— au niveau du chorion : vaisseaux dilatés à l'extrême, migration de nombreux polynucléaires et lymphocytes. Les images de phagocytose ne sont pas rares (fig. 5).

Cobaye L + 14

Cet étrange vocable désigne le seul animal, traité par lavages, sacrifié 14 jours après les autres, soit 2 semaines après la fin de l'expérimentation, dont les prélèvements aient été exploitables.

Malgré son caractère unique, il n'en est pas moins intéressant, car nous avons trouvé chez lui, au niveau du chorion, une grande quantité de plasmocytes, littéralement gorgés de sécrétions (fig. 6 et 7).

S'agit-il de sécrétions d'IgA ? On peut tenir cette hypothèse pour vraisemblable, voire probable, mais le seul examen au microscope électronique ne permet pas de l'affirmer.

DISCUSSION

En 1974, Debidour, Auriacombe, Chevance, Lesourd et Hannoun [1] étudient les variations des taux d'Ig, locales et circulantes, induites par la cure thermique bicarbonatée mixte silicatée arsénicale du Mont-Dore, et, parallèlement, évaluent au microscope électronique les modifications cytologiques provoquées par la cure sur la pituitaire du lapin. L'étude immunologique clinique n'aboutit pas à des conclusions très nettes. En revanche, l'étude histologique montre une destruction de la couche épithéliale superficielle, une hypersécrétion réactionnelle considérable et une forte augmentation des plasmocytes dans le chorion.

En 1978, les mêmes auteurs [2] trouvent, après stimulation par la même eau thermique, un nombre de plasmocytes très élevé au 15^e jour, précisé par

comptage, et encore 5 fois plus de plasmocytes que chez les animaux témoins au 100^e jour.

Toujours en 1978, Debidour et Hannoun [3] démontrent qu'après la cure du Mont-Dore, une muqueuse nasale normalement insensible ou peu sensible à un antigène inerte (vaccin antigrippal inactivé) devient très sensible à l'administration locale de cet antigène, au point de déclencher l'apparition d'anticorps locaux et même circulants.

Dans notre expérimentation, qui ne comporte pas de volet clinique, nous n'avons pas constaté de processus destructif des structures ciliées, sauf avec le vaporarium : c'est la seule constatation réellement discordante. Nous avons observé en revanche, avec la cure sulfurée, des phénomènes inflammatoires immédiats très intenses : vasodilatation, œdème, mobilisation de leucocytes de toutes catégories, et surtout prolifération de plasmocytes hyper-sécrétants au 15^e jour après la fin de la cure : la concordance avec les travaux de l'équipe du Mont-Dore est ici évidente. Nous ne méconnaissons pas les insuffisances de notre investigation, où manquent le comptage des plasmocytes et une identification des protéines incluses dans les plasmocytes. Dans un plan de travail ultérieur, nous aurons évidemment à combler ces lacunes.

CONCLUSION

La réaction inflammatoire observée ne pouvait nous surprendre. Nous connaissions de longue date sa réalité clinique. Comment ne l'aurions-nous pas retrouvée au microscope ?

Le fait biologique essentiel qui ressort de ce travail, comme des travaux précédents nous paraît être la prolifération et la stimulation sécrétoire des plasmocytes, observées, rappelons-le, dans des conditions expérimentales voisines, chez des animaux différents (lapin et cobaye) avec deux eaux thermales différentes (le Mont-Dore et Luchon).

A défaut d'une affirmation péremptoire, qui ne semble pas encore suffisamment fondée, ce travail qui n'ambitionne rien d'autre que d'explorer les possibilités d'une méthode d'investigation, débouche au moins sur une hypothèse :

le mode d'action de la crénothérapie respiratoire pourrait être un processus immunologique. Hypothèse que des travaux approfondis, menés avec les moyens les plus modernes, pourront seuls infirmer ou confirmer.

REFERENCES

1. Debidour A., Auriacombe Y., Chevance L.G., Lesourd M., Hannoun. — Effets cytologiques et immunologiques de la Cure Thermale bicarbonatée mixte silico-arsénicale. Etude expérimentale et clinique préliminaire. *Rev. Fr. Allergol.*, 1974, 1, 17-30.
2. Chevance L.G., Lesourd M., Debidour A., Auriacombe Y. — Etude cytochimique quantitative de l'immunostimulation locale des muqueuses respiratoires par eau thermale. *Nouv. Presse méd.*, 1978, 7, 2625-2627.
3. Hannoun C.P., Debidour A. — Modification de la réceptivité immunologique locale après cure thermale du Mont-Dore. In : *Entretiens de Bichat*, 1978, *Thérapeutique*, 276-278. Paris, Expansion Scientifique Française, 1978.

Erratum


Une erreur s'est malencontreusement glissée dans le titre de la communication de MM. Fortier et Capoduro à la séance du 9 novembre 1981 de la Société Française d'Hydrologie (*Presse thermale et climatique*, n° 1/1982, page 43).


Voici le titre réel :

Renseignements et enseignements d'une étude de 1 500 phlébitiques observés en milieu thermal à Aix-en-Provence.


Nous prions les auteurs et nos lecteurs de nous excuser de cette coquille.


oligosols®


 **Aluminium Oligosol**
4 mg / 2 ml
● atonie
AMM 307511.6


 **Bismuth Oligosol**
0,07 mg / 1 ml
● amygdalites, laryngites
(ne pas utiliser plus de trois
jours sans avis médical)
Visa NL 1806


 **Cobalt Oligosol**
0,45 mg / 2 ml
● régulation du système
sympathique
AMM 307513.9


 **Culvre Oligosol**
5,18 mg / 2 ml
● états infectieux
Visa 19.558 b - 20.978


 **Cuivre-Or-Argent
Oligosol**
0,45 mg-0,0014 mg-0,06 mg / 2 ml
● états anergiques
Visa NL 2145


 **Fluor Oligosol**
0,442 mg / 2 ml
● atteintes osseuses
AMM 307514.5 - Tableau C


 **Iode Oligosol**
0,024 mg / 2 ml
● dysfonctionnements
thyroïdiens
AMM 307528.6 - Tableau C


 **Lithium Oligosol**
8,14 mg / 2 ml
● troubles du psychisme
AMM 307515.1


 **Magnésium Oligosol**
1,78 mg / 2 ml
● états intestinaux
AMM 307516.8


 **Manganèse Oligosol**
0,59 mg / 2 ml
● états arthritiques
■ contre-indications :
tuberculose et
affections pulmonaires
AMM 307517.4


 **Manganèse-Cobalt
Oligosol**
0,59 mg-0,554 mg / 2 ml
● dystonies neuro-végétatives
■ contre-indications :
tuberculose et
affections pulmonaires
AMM 307508.5


 **Manganèse-Culvre
Oligosol**
0,59 mg-0,518 mg / 2 ml
● états infectieux chroniques
AMM 307509.1


 **Manganèse-Culvre-Cobalt
Oligosol**
0,59 mg-0,518 mg-0,554 mg / 2 ml
● anémies
Visa 19.558 b - 20.976


 **Nickel-Cobalt Oligosol**
0,556 mg-0,554 mg / 2 ml
● dysfonctionnements
pancréatiques
AMM 307526.3

 **Phosphore Oligosol**
0,14 mg / 2 ml
● dysfonctionnements
parathyroïdiens
■ contre-indication :
tuberculose alguë
AMM 307520.5

 **Potassium Oligosol**
0,24 mg / 2 ml
● troubles du
métabolisme de l'eau
Visa 19.558 b - 20.975 - Tableau C

 **Soufre Oligosol**
0,30 mg / 2 ml
● dysfonctionnements
hépato-biliaires
Visa 19.558 b - 20.980

 **Zinc Oligosol**
0,47 mg / 2 ml
● dysfonctionnements
hypophysaires
■ contre-indications :
tuberculose évolutive
et cancer déclaré
AMM 307524.0

 **Zinc-Culvre Oligosol**
0,47 mg-0,518 mg / 2 ml
● dysfonctionnements
hypophyso-gonadotropes
■ contre-indications :
tuberculose évolutive
et cancer déclaré
Visa 19.558 b - 20.981


 **Zinc-Nickel-Cobalt
Oligosol**
0,47 mg-0,556 mg-0,554 mg / 2 ml
● dysfonctionnements
hypophyso-pancréatiques
AMM 307526.3


Posologie et voie d'administration


1 à 2 prises par jour ou plus en fonction de l'état. Voie perlinguale de préférence le matin à jeun ou loin des repas.

Formes et présentations - Prix publics - Coûts de traitement journalier

Remboursement Sécurité Sociale à 70%

 Flacon multidose pour la voie perlinguale (60 ml)
1 cuillère doseuse = 2 ml - Prix public : 13,60 F
Coût de traitement journalier : 0,45 F à 0,90 F

 Ampoules injectables (I.M.) et pour la voie perlinguale
(14 amp. x 2 ml) - Prix public : 9,00 F
Coût de traitement journalier : 0,64 F à 1,28 F

 Flacons pressurisés doseurs pour la voie perlinguale (60 ml)
1 distribution = 2 ml - Prix public : 14,00 F
Coût de traitement journalier : 0,46 F à 0,92 F

Les eaux thermales de Luchon *

J.-C. SOULE **

(Toulouse)

Les études effectuées par le B.R.G.M. à Luchon depuis 1979, ont permis d'aboutir à une synthèse hydrogéologique et de proposer un schéma explicatif pour la circulation des eaux.

Ces études ont été menées afin de satisfaire simultanément deux objectifs :

— 1^{er} objectif : assurer une protection de la ressource en eau thermale par la mise en place de périmètres de protections réglementaires.

— 2^e objectif : améliorer les conditions de captage de ces eaux pour permettre un accroissement des débits tout en assurant la stabilité des caractéristiques physico-chimiques de ces eaux.

CONTEXTE GEOLOGIQUE

Aperçu de géologie régionale

Le site de Luchon se trouve dans la terminaison périantyclinale occidentale du massif ordovicien de Les-Bosost (Val d'Aran). Cette structure est limitée par une ceinture de terrains siluriens franchissant la vallée de la Pique, au Nord à Moustajon, au Sud dans la région du Pont-de-Ravi.

Un massif de granite hercynien la recoupe au Sud du confluent de la vallée de Burbe. Il est bordé au Nord de dykes de pegmatites qui atteignent le secteur des Thermes.

Les roches éruptives ont développé un métamorphisme notable dans les terrains encaissants et de nombreuses lames schisteuses alternent avec des lames de granite.

Géologie de détail au niveau des émergences

Le couvert végétal et la présence de colluvions interdisent les levés géologiques détaillés précis autour des Thermes. Les seuls levés géologiques valables ont été effectués à l'intérieur des galeries de captage, ils ont permis d'observer les dykes de pegmatites du groupe Sud et de dégager les éléments structuraux essentiels :

— la schistosité qui semble correspondre à la stratification, a un pendage de 40 à 60° Nord ;

— les fractures principales qui affectent les roches (notamment les pegmatites et les roches métamorphisées) forment deux familles principales :

- celle des fractures Nord-Sud (N 340 à N 30°) qui recoupent les strates, et sont les plus fréquentes,
- celle des fracture Est-Ouest (N 80 à N 110°) ;

— les dykes de pegmatites qui sont subverticaux et de direction Est-Ouest et qui recoupent les schistes.

LES CAPTAGES

Aspect historique

Les Thermes de Luchon étaient déjà fréquentés à l'époque romaine, mais c'est au siècle dernier qu'ont été creusées les galeries de captage utilisées aujourd'hui.

* Communication faite dans le cadre du Colloque « Les Eaux Thermales », Luchon, octobre 1981, organisé par l'Association des Géologues du Sud-Ouest.

** Ingénieur hydrogéologue, Service géologique régional Midi-Pyrénées, BRGM TOULOUSE.

THERMES DE LUCHON

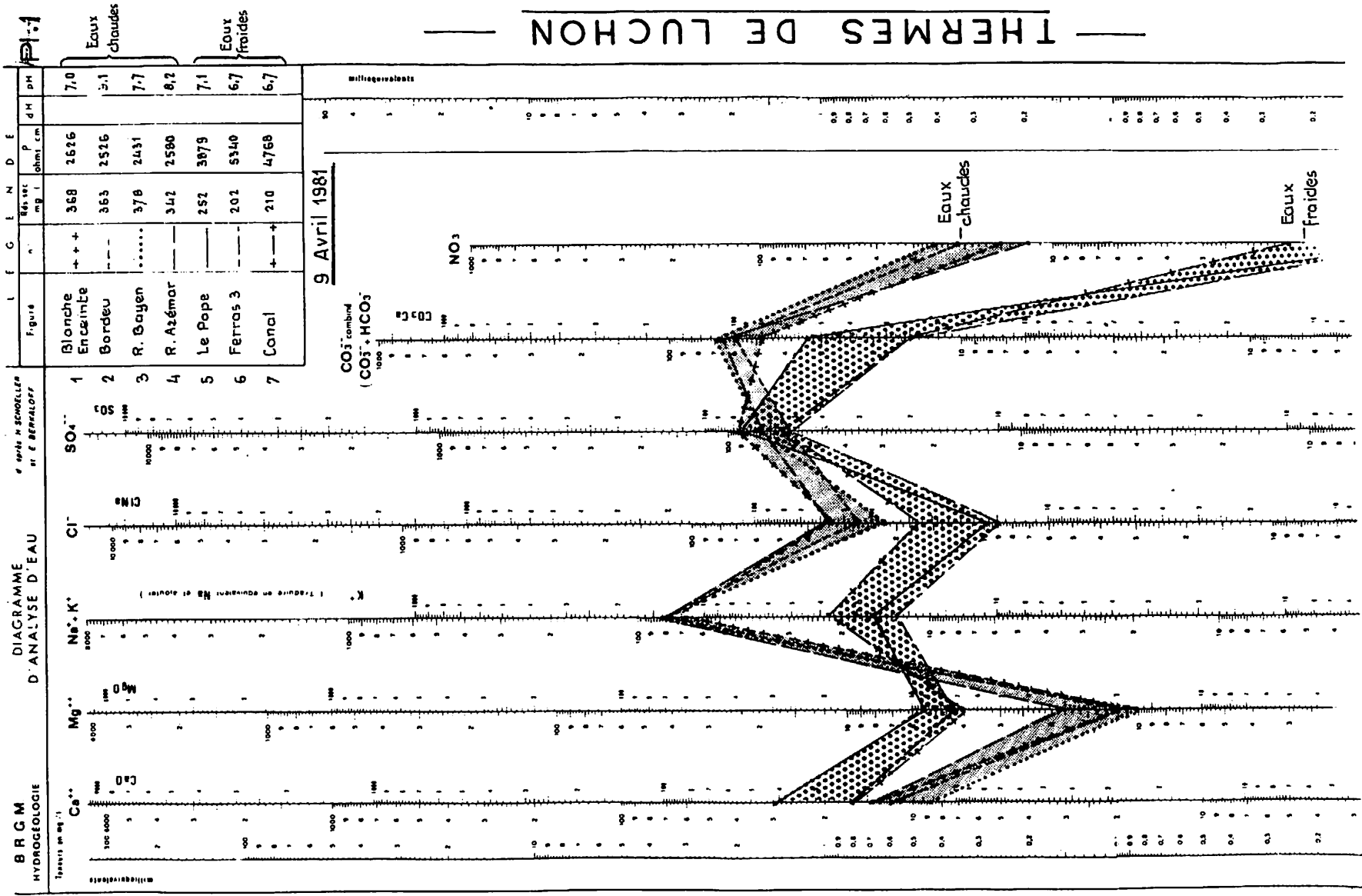


Fig. 1

Les premières galeries nouvelles ont été creusées au Nord de l'Établissement dès 1831, mais après quelques essais la Municipalité a fait appel à l'Ingénieur des Mines Jules François qui fit creuser les galeries du groupe Nord de 1839 à 1842 et celle du groupe Sud de 1845 à 1862.

Les 900 mètres de galeries ont malheureusement été creusés à la demande de la Municipalité, 2 m plus haut que le projet de J. François, ce qui a eu pour conséquence l'obtention d'un débit plus faible que prévu. Malgré cela le débit est passé de 118 m³/jour à 350 m³/jour.

Aspect administratif

Dès 1841, J. François remet à la Municipalité un projet de périmètre de protection des sources. Mais, ce projet a été « égaré » dans les bureaux des ministères, et il faut attendre 1981 pour que le problème de la protection des Thermes soit à nouveau posé. Ce qui conduit le B.R.G.M. à redéfinir les périmètres de protection et à proposer des mesures réglementaires dont les contraintes seront inscrites dans le cadre du P.O.S. de la ville.

Bien que ne jouissant pas de protection, les sources n'en sont pas moins autorisées et utilisées, et tous les griffons ont été regroupés en 18 sources autorisées par l'Arrêté Ministériel du 27 mars 1878.

ETUDES RECENTES

De 1964 à 1967, une étude des relations hydrauliques entre les sources et les eaux de la plaine alluviale est entreprise pour évaluer l'impact d'un projet de barrage E.D.F. dit de la chute de la Terme. Cette étude nous a laissé un historique de la piézométrie de la nappe et des débits des sources.

De 1979 à 1981 le B.R.G.M. a fait une synthèse hydrogéologique à partir des données déjà acquises et à partir de mesures complémentaires. Cette étude repose sur :

- des relevés géologiques (principalement tectoniques,
- des relevés piézométriques de la nappe alluviale (8 nouveaux piézomètres installés autour des Thermes),
- des mesures des débits des sources,
- des analyses physico-chimiques et isotopiques,
- une étude du soufre.

Elle a permis de proposer un schéma explicatif pour la circulation des eaux, qui a servi de guide pour définir un périmètre de protection sanitaire, et pour localiser les premiers forages de reconnaissance.

SCHEMA EXPLICATIF POUR LA CIRCULATION DES EAUX

Ce schéma a pu être établi à partir des résultats des investigations géologiques, hydrogéologiques et physico-chimiques.

Les principaux résultats qui ont permis sont élaboration sont :

Géologie

La présence d'un milieu fissuré constitué par des dykes de pegmatites et leur métamorphisme de contact, crée des zones préférentielles pour la remontée de l'eau.

Analyses physico-chimiques et isotopiques

Les diagrammes de H. Schoeller font apparaître une seule famille d'eau pour les eaux chaudes, qu'elles soient du groupe Nord ou du groupe Sud (fig. 1). Les examens pratiqués sur le soufre montrent qu'il est d'origine profonde et qu'il provient de terrains de type granitoïdes et non pas de terrains sédimentaires (fig. 2).

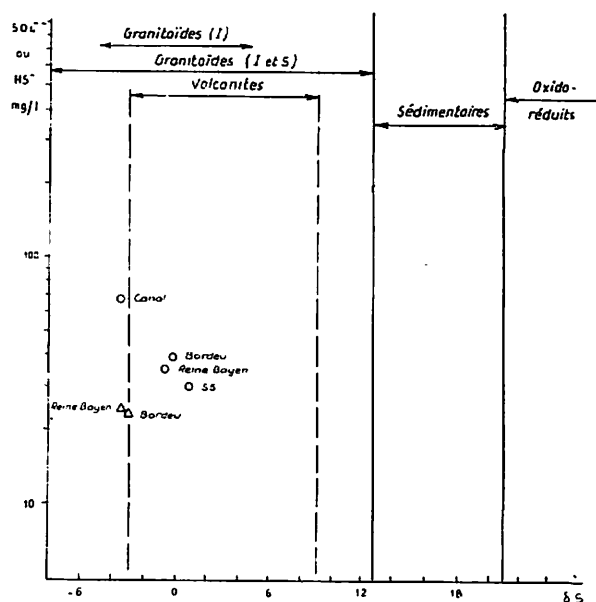


Fig. 2. — Origine de la minéralisation des eaux en sulfates. I : répartition dans le Massif de Mont-Louis. I et S : répartition mondiale. Cercle : SO₄⁻ - Triangle : HS⁻.

Enfin, l'absence de tritium dans les eaux en automne confirme l'origine profonde de cette eau et son absence de mélange avec les eaux de surface en été.

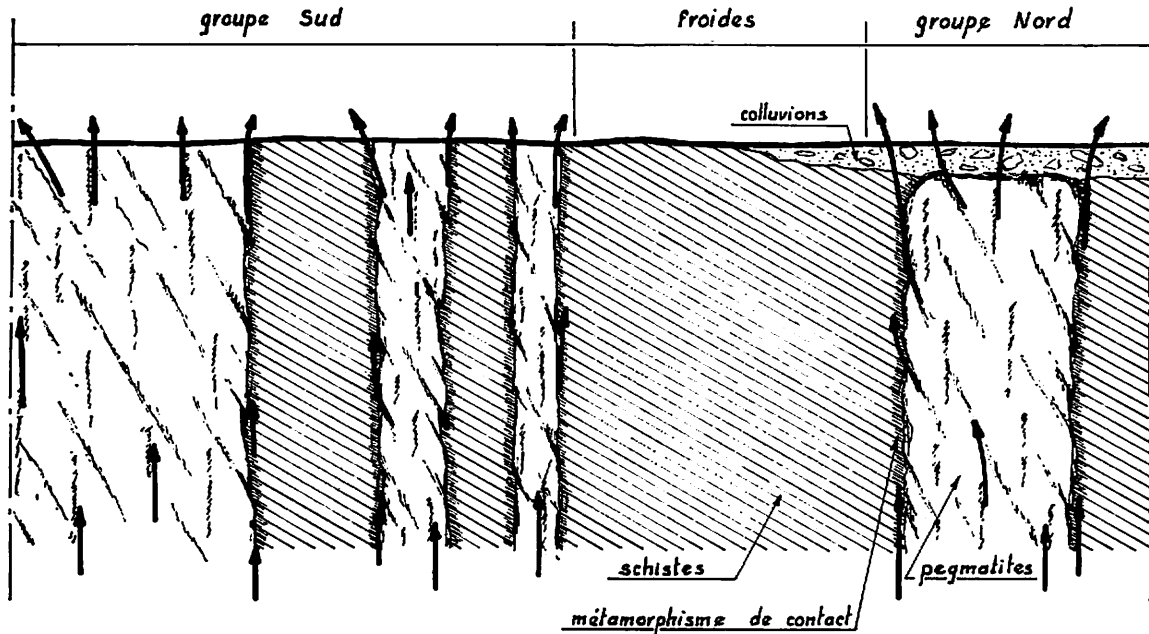


Fig. 3

En résumé, on peut retenir que les eaux chaudes de Luchon dont la température varie selon les griffons de 30 à 63°, sont d'origine profonde, qu'elles appartiennent à un gisement hydrominéral sulfureux d'origine géochimique, et que la bactériologie, les isotopes du soufre et la composition chimique des eaux conduisent à l'hypothèse d'une

circulation des eaux dans les granitoïdes fissurés et excluent l'hypothèse d'une circulation dans les terrains sédimentaires (fig. 3).

En conséquence, le projet de forages retenu, débutera par un forage de reconnaissance implanté sur le flan nord du dyke de pegmatite du groupe Nord.

INFORMATIONS

THERMALIES 82

Paris, 3-7 novembre 1982

Elles se dérouleront de 10 h à 19 h au Palais des Congrès, à Paris, avec l'appui des Pouvoirs publics.

Le Secrétariat d'Etat au Tourisme et la Fédération Thermale et Climatique Française nous apportent soutien et patronage.

Ce point de rencontre entre public et professionnels ayant pour thème la santé crée un véritable événement.

Les 4 et 5 novembre se tiendront les Journées Nationales du Thermalisme et du Climatisme pour les professionnels ; le 6 novembre, une journée organisée par le Centre d'Etude pour la Thérapeutique, le Thermalisme et l'Enfant.

Les eaux thermominérales des Pyrénées *

Henri SCHOELLER **, Marc SCHOELLER ***

(Bagnères-de-Luchon)

NECESSITE D'ASSOCIER LA GEOLOGIE, L'HYDRAULIQUE ET LA GEOCHIMIE

Il est tout d'abord nécessaire d'avoir à l'esprit quelques considérations générales, évidentes, mais souvent perdues de vue.

En effet, la thermalité et la composition chimique de l'eau sont le résultat de plusieurs causes.

D'abord *la température* dépend de la profondeur atteinte par l'eau d'infiltration, de la vitesse de circulation de celle-ci, tant au cours de la descente qu'au cours de la remontée, de la surface de contact avec la roche, i.e, du débit. Elle dépend aussi de la présence de cheminements possibles, fissures, chenaux et autres, de leurs dimensions transversales, de leur degré d'ouverture, donc de la nature des roches et de la tectonique passée et présente.

De même, *la minéralisation* des eaux est fonction des éléments apportés à l'entrée du circuit, des éléments dissous en profondeur et éventuellement des éléments apportés des plus grandes profondeurs. Cette minéralisation dépend de la nature des roches. La mise en solution est fonction de la température, de la pression et de la vitesse de circulation de l'eau dans les zones de dissolution et de précipitation éventuelle.

Enfin, il faut tenir compte de la variation de la profondeur des isothermes dans le temps qui modifie les équilibres des éléments dissous.

Ainsi, on ne peut expliquer les phénomènes créant les eaux thermominérales sans une association intime de la géologie, élément fondamental, de l'hydraulique et de la géochimie, faute de quoi on peut aboutir à des mésinterprétations. Les problèmes posés sont facilités par le fait que certains phénomènes fondamentaux se produisent d'une manière générale depuis des temps géologiques et donc sont en régime permanent, alors qu'au contraire d'autres, en passant d'un point du circuit à un autre en un temps relativement court, doivent être examinés du point de vue dynamique.

Ici, il n'est question que des eaux sulfuriques de la région axiale des Pyrénées et qui peut être divisée en trois parties :

— *la région extrême orientale* du Boulou, la région orientale essentiellement granitique, gneissique, métamorphique où l'action sédimentaire non métamorphique est tout à fait subordonnée ;

— *la région occidentale* où, au contraire, le non métamorphique, le Paléozoïque, en particulier le Silurien, le Dévonien et le Carbonifère jouent un rôle de plus en plus important ;

— *l'extrême ouest*, en pays basque, est laissé de côté.

Cette répartition se reflètera sur la composition chimique des eaux.

On remarquera que, d'une manière générale, les eaux sulfuriques sourdent à la limite ou de part et d'autre de la limite des terrains granitiques et métamorphiques et même parfois non métamorphiques. Cela se retrouve pour des sources thermales d'autres régions comme à Chaudesaigues ; ce qui semble être dû à des différences de compétences de ces terrains, provoquant une fracturation profonde favorable au cheminement des eaux thermales.

* Communication faite dans le cadre du Colloque « Les Eaux Thermales », Luchon, octobre 1981, organisé par l'Association des géologues du Sud-Ouest.

** Professeur Honoraire, Université de Bordeaux I.

*** Maître de Recherche C.N.R.S., Université de Bordeaux I, Centre d'Hydrogéologie, avenue des Facultés, 33405 TALENCE CEDEX.

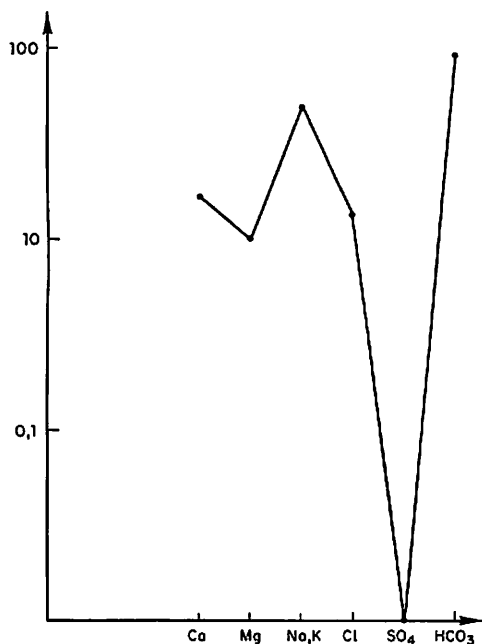


Fig. 1. — Le Boulou.

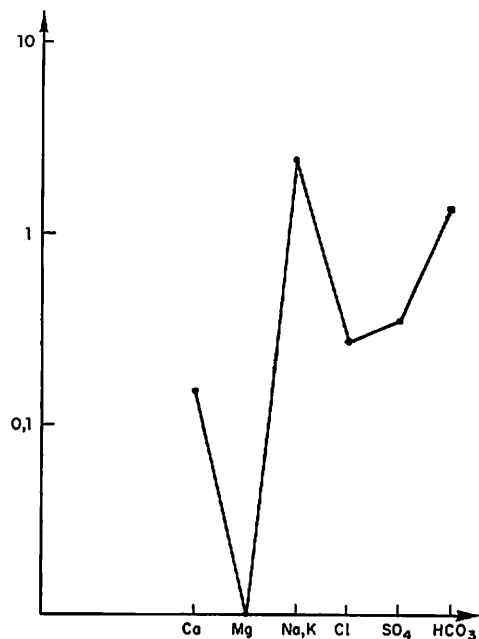


Fig. 2. — Moligt.

Pour qu'il y ait une thermalité importante, il faut, en effet, l'existence au moins des fractures très profondes afin que les eaux puissent acquérir des températures très élevées.

Certaines sources suivent des fractures majeures jusqu'à la surface, les émergences pouvant être situées de part et d'autre de cette fracture. Telles sont celles de la vallée du Têt, Canaveilles, Thuès, Saint-Thomas et bien d'autres. Souvent les sources se trouvent à la limite du granite et des schistes, les unes dans le granite, les autres dans les schistes comme à Cauterets. A une certaine profondeur avant d'arriver à la surface, les eaux thermominérales peuvent pénétrer dans d'autres terrains comme à Loudenvielle, Saint-Sauveur, Barèges, etc. Le granite n'en est pas loin.

LES DIFFERENTS TYPES D'EAUX MINÉRALES

S'il y a une certaine homogénéité de la minéralisation le long de la chaîne axiale — toutes les eaux sont des acratothermes sulfureuses — néanmoins, de l'Est à l'Ouest, on rencontre différents types d'eaux minérales qui, sans nul doute, sont subordonnées par la géologie :

— La zone du Boulou, caractérisée par une teneur très élevée en HCO₃⁻, par l'absence de sulfures, par une minéralisation importante. En réalité, Le Boulou se rapporte plutôt aux eaux thermominérales du Massif-Central, comme Jacquot et Willm l'avaient remarqué dès 1894, ce que l'on oublie trop souvent.

— La zone sulfurique orientale, Moligt, La Preste, Canaveilles, etc., eaux issues essentiellement du granite ou des gneiss, avec $r\text{SO}_4^{--}$ et $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ faibles, $r(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})/r\text{Cl}$ élevé. Elle comprend les eaux de La Preste et Canaveilles à $r(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})/r\text{Cl}$ élevé et $r\text{SO}_4^{--}$ très faible, ce qui les distingue du type Moligt avec Nossa, Escouloubre, Carcanière, Ax-les-Thermes, Amélie, Vernet, Thuès, Saint-Thomas, Dorrès, Escaldes, Usson, Mérens. A noter qu'Amélie toute proche de la zone du Boulou a HCO₃⁻ et Cl⁻ un peu plus élevés et que Mérens a un Ca⁺⁺ un peu plus fort, peut-être d'origine sédimentaire.

— La zone sulfurique occidentale dans laquelle le sédimentaire est assez développé alors que les affleurements de granite et de gneiss s'y réduisent. On peut y distinguer :

a) Le type Luchon comprenant Loudenvielle et Tranzaygues avec $r\text{Mg}/r\text{Ca}$, $r\text{Cl}^-$ et $r\text{SO}_4^{--}$ nettement plus élevés, $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ et $r(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})/r\text{Cl}$ plus petits que dans les zones précédentes. On pourrait attribuer ces différences à l'influence du sédimentaire où le Dévonien prend une part importante.

b) Le type Cauterets avec Saint-Sauveur, Barèges, Barzun. $r\text{Mg}/r\text{Ca}$, $r(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})/r\text{Cl}$, $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$, $r\text{SO}_4^{--}$ sont encore plus faibles que dans la zone précédente. Ici le Houiller est le sédimentaire principal. Mais, à ne pas en douter, les eaux circulent en profondeur dans le granite ou au contact du granite-houiller.

c) Le type Gazost avec Beaucens, Labassère. Ces eaux sont les plus sulfureuses, le rapport $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$

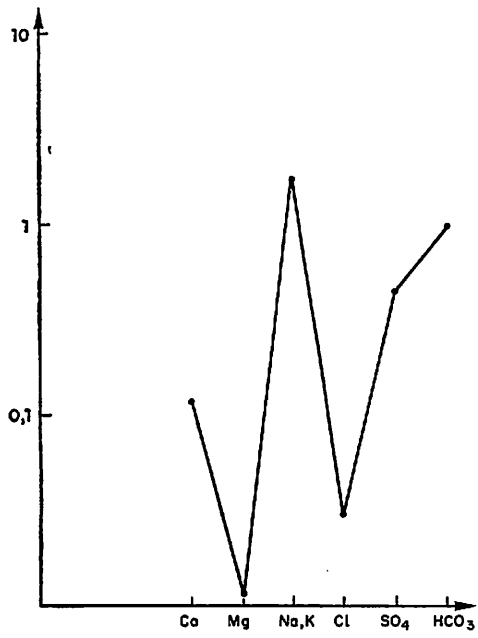


Fig. 3. — La Preste.

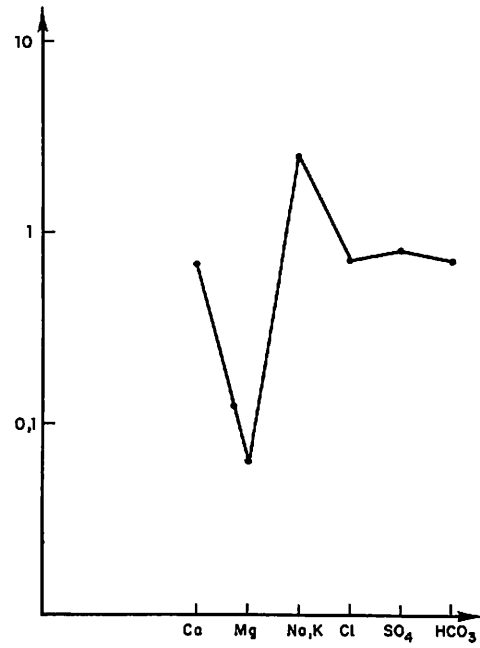


Fig. 5. — Loudenvielle.

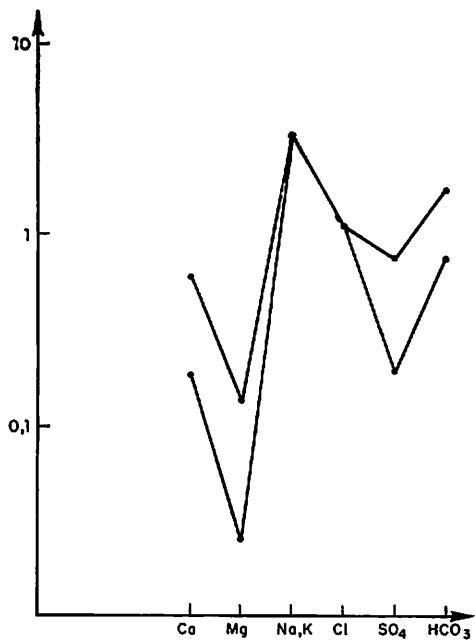


Fig. 4. — Luchon.

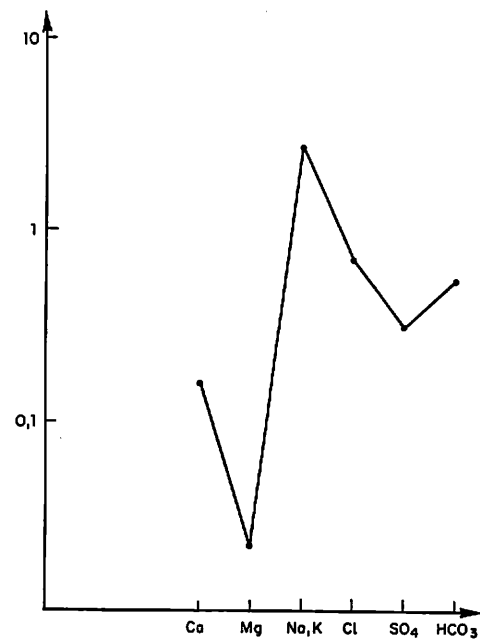


Fig. 6. — Barège.

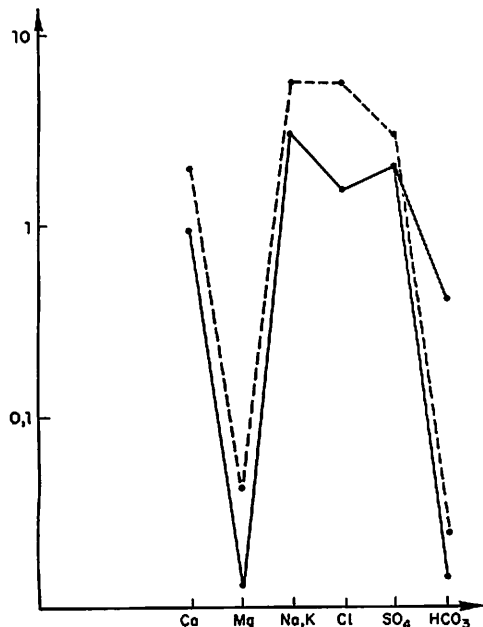


Fig. 7. — Gazost - A: Beaucens ; B: Gazost ; C: Labassère.

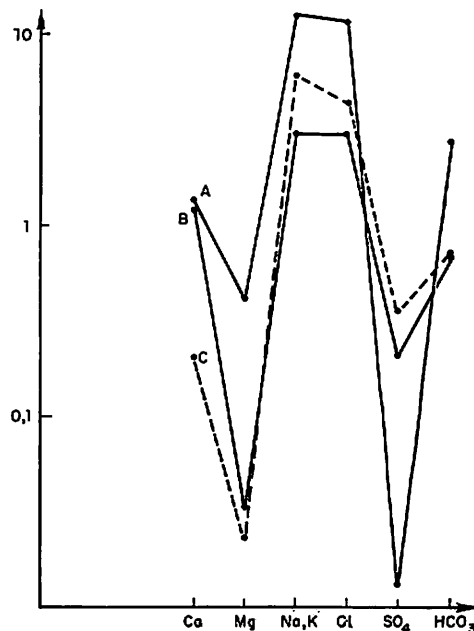


Fig. 8. — Eaux-Chaudes.

y est le plus faible en raison de la teneur en SO_4^{--} et une haute teneur en Cl^- . Il semble bien qu'ici les schistes carbonés du Gothlandien provoquent une forte réduction du SO_4^{--} avec une augmentation corrélative du HCO_3^- .

d) Le type Eaux Chaudes, à forte teneur en SO_4^{--} en relation avec le Crétacé.

Les différences de ces types apparaissent sur les graphiques semi-logarithmiques (fig. 1 à 8) et dans le tableau I ci-après.

TABLEAU I

| TYPES | rMg/rCa | $r \frac{(Na+K-Cl)}{rCl}$ | $\frac{rSO_4}{rCl}$ | rCl | rSO_4 | $rHCO_3$ |
|--------------|----------------------|---------------------------|---------------------|------------------|--------------------|----------|
| Boulou | 0,6 | 2,3-9 | 0,005 | 4-20 | | 30-90 |
| La Preste | 0,1-0,8 | 20-45 | 0,8-3 | 0,2-0,5 | 0,03-0,05 | |
| Moligt | m = 0-0,3 0,13 | 5-20 8,99 | 1,3-3 1,70 | 0,17-0,7 0,26 | 0,27-0,98 0,50 | |
| Luchon | m = 0,1-1,5 0,60 | 1,66-2,6 2,3 | 0,12-1,3 1,0 | 0,5-1,4 0,87 | 0,5-0,8 0,7 | |
| Barèges | m = 0,1-0,5 0,20 | 1,5-3,8 1,51 | 0,4-0,7 0,53 | 0,5-1,4 0,89 | 0,35-0,55 0,53 | |
| Gazost | m = 0,03-0,1 0,07 | 0,1-0,5 0,23 | 0,01-0,07 0,06 | 3-12 5,22 | 0,018-0,33 0,18 | |
| Eaux-Chaudes | m = 0,021 | 1,01 | 1,19 | 1,6 | 1,86 | |

m = valeurs moyennes.

LA ROCHE EST-ELLE CAPABLE DE FOURNIR TOUTE LA QUANTITE DE SULFURES DES EAUX ?

C'est la question que l'on peut se poser. Dans ce court exposé, nous ne pouvons donner une démonstration détaillée.

Il s'agit d'abord d'établir un bilan des éléments majeurs dans le circuit hydrothermal.

Si nous admettons que les eaux d'alimentation se font par infiltration dans les parties élevées des massifs, c'est la composition chimique de l'eau des sources qui s'y trouvent, qui doit représenter celle des eaux pénétrant dans le circuit hydrothermal à l'entrée de celui-ci et non celle des eaux des sources des vallées profondes. Aussi avons nous fait analyser les huit sources situées entre 1500 et 2000 mètres d'altitude dans le massif du Canigou.

TABLEAU II

| | Moyenne | σ | σ/m | | |
|----------|---------|----------|------------|----------------------------|---------|
| rCa | 0,379 | 0,214 | 0,565 | rSO_4/rCl | = 6,267 |
| rMg | 0,070 | 0,038 | 0,543 | rMg/rCa | = 0,185 |
| rNa | 0,117 | 0,057 | 0,485 | $\frac{r(Na+K)}{r(Ca+Mg)}$ | = 0,287 |
| rK | 0,012 | 0,012 | 1,00 | $\frac{rCl-Na-K}{rCl}$ | = -7,60 |
| rCl | 0,015 | 0,012 | 0,782 | rNa/rK | = 9,75 |
| rSO_4 | 0,094 | 0,022 | 0,235 | | |
| $rHCO_3$ | 0,421 | 0,267 | 0,635 | | |
| rNO_3 | 0,022 | 0,013 | 0,581 | | |
| SiO_2 | 0,217 | 0,060 | 0,385 | | |

Si l'on admet que dans les eaux sulfureuses de la région $rS = 1,268$; $\sigma = 0,848$; $\sigma/m = 0,669$, on constate qu'il y a beaucoup plus de S que dans les eaux d'infiltration.

PEUT-ON ADMETTRE QUE LES SULFURES PROVIENNENT DES PYRITES CONTENUS DANS LA ROCHE ?

Admettons que la teneur en soufre des roches soit de 300 ppm, ce que nous avons obtenu d'après les analyses que nous avons fait faire de 9 échantillons de granite et de gneiss du Massif du Canigou.

Si l'on admet que la moyenne du S total des eaux sulfureuses est de 0,808 mmol et 0,142 celles des eaux ordinaires, il y aurait donc un supplément de 0,666 mmol que l'on supposerait provenir des pyrites de la roche, soit 21,33 mg/l de S.

Comme les roches contiennent 300 ppm, il faudrait donc pour extraire de la roche la totalité du soufre $21,33/300 = 0,0711$ kg de roche, soit avec un poids spécifique de 2,7 un volume de $2,633 \times 10^{-5}$ m³ de roche. Si l'eau circule dans une fissure sur une largeur horizontale de 10 mètres, entrant alors en contact avec une largeur de 20 mètres, sur un trajet de 3 000 mètres, il faudrait en un an une extraction de S sur une épaisseur de $2,633 \times 10^{-5}$ $\times 3,1536 \times 10^7 = 13,84$ mm/an pour un débit de 1 litre par seconde.

Même si l'attaque se faisait sur une largeur de 100 mètres pour un débit de 1 litre/s, elle serait de 1,38 mm/an, ce qui paraît peu vraisemblable.

Ainsi, il semble bien qu'il n'y ait pas suffisamment de S dans la roche pour produire la quantité de sulfures existant dans les eaux thermominérales. Et encore, on a implicitement admis que l'extraction est immédiate, ce qui n'est vraisemblablement pas, ce qui renforce la conclusion précédente.

De plus, nous pouvons comparer le rapport $rS/(rS \text{ eau thermique} - rS \text{ eau d'infiltration}) = 300/21,33 = 14,06$ avec le rapport $rNa \text{ roche}/(rNa \text{ eau thermique} - rNa \text{ eau d'infiltration}) = 289 \text{ à } 596$. On ne peut le faire avec les autres cations, ni avec SiO₂ en raison des échanges ou des précipitations d'après les rapports.

La comparaison des rapports calculés ci-dessus montre qu'il faudrait beaucoup plus de roche pour apporter le S que le Na à l'eau, soit de 13 à 42 fois plus. L'extraction de Na ne nécessite que 1,38/42 à 1,38/13, i.e. 0,03 à 0,11 mm/an d'épaisseur de roche dans les conditions de parcours de 1 l/s dans un circuit de 3 000 mètres de longueur et 100 mètres de largeur, ce qui se rapproche de l'admissible.

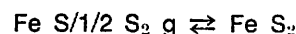
ORIGINE DES SULFURES

Les eaux sulfureuses sodiques se trouvent tout le long de la zone axiale de la chaîne.

Si elles n'étaient subordonnées qu'à des terrains riches en pyrite ou en matière organique, il y aurait des sources thermales non sulfureuses dans cette zone axiale, ce qui n'est pas le cas. On peut en conclure que l'origine des eaux sulfureuses ne peut être liée qu'à des conditions tout à fait générales intéressant l'ensemble de la chaîne.

D'où viennent alors les sulfures ?

- 1) Il ne semble pas qu'il y ait partout assez de pyrite dans la roche pour engendrer les sulfures.
- 2) La généralisation des sources sulfuriques tout le long de la chaîne, le long de la zone axiale sur 260 kilomètres, ne permet pas de concevoir une généralité de la richesse en pyrite des roches cristallines.
- 3) Il faut admettre un autre processus plus général : nous proposons une transformation de la pyrite des roches en teneur normale en pyrrhotite par suite de l'entrée des roches cristallines dans une zone à thermicité croissante, profonde. Si l'on considère qu'à cette profondeur le milieu est anhydre et privé d'oxygène, on peut avoir une réaction du type :



$$\Delta H^{\circ}_r = - 33\,020 \text{ cal. M}^{-1};$$

$$\Delta G^{\circ}_r = - 24\,330 \text{ cal. M}^{-1};$$

$$\Delta S^{\circ}_r = - 29,025 \text{ cal. M}^{-1} (\text{K}^{\circ})^{-1};$$

$$\Delta C_{p_r} = \Delta a + \Delta b T - \Delta c T^2 \text{ cal. M}^{-1} (\text{K}^{\circ})^{-1};$$

$$\text{où } \Delta a = + 8,33,$$

$$\Delta b = - 25,6 \times 10^{-3},$$

$$\Delta c = 2,6 \times 10^5;$$

$$V_{\text{FeS}} : 17,58 \text{ cm}^3 \cdot \text{M}^{-1};$$

$$V_{\text{S}_2\text{g}} : 24\,789 \text{ cm}^3 \cdot \text{M}^{-1};$$

$$V_{\text{FeS}_2} : 23,94 \text{ cm}^3 \cdot \text{M}^{-1}.$$

Les valeurs de ci-dessus sont prises à 25°, 1 bar.

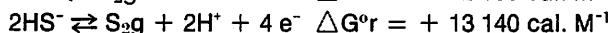
Par exemple, en tenant compte de la pression et de la température, on aurait pour fS₂ équilibre :

TABLEAU III

| Ho _{km} | P bars | T° C | fS bars |
|------------------|----------|------|---------------------------|
| 0 | 1 | 25 | 1,914 × 10 ⁻³⁶ |
| 2,6 | 644 | 100 | 5,583 × 10 ⁻²⁷ |
| 5,2 | 1 289 | 200 | 1,057 × 10 ⁻¹⁸ |
| 7,9 | 1 932 | 300 | 2,816 × 10 ⁻¹³ |
| 13,886 | 3 221,65 | 500 | 1,823 × 10 ⁻⁶ |
| 18,041 | 4 510 | 700 | 3,294 × 10 ⁻² |
| 20,618 | 5 155 | 800 | 1,408 |

Une hausse de la température de la roche, soit par montée des isothermes, soit par un enfoncement du terrain doit procurer une libération de S_2 .

Le S_2 gazeux peut alors, i.e, remonter le long des fissures et réagir avec l'eau pour donner des sulfures. On peut alors considérer les réactions suivantes :



Prenons la dernière équation avec et à 25°C, 1 bar :

$$\Delta H^{\circ r} = +39\,080 \text{ cal. M}^{-1};$$

$$\Delta G^{\circ r} = +13\,140 \text{ cal. M}^{-1};$$

$$\Delta S^{\circ r} = +86,91 \text{ cal. M}^{-1} (K^{\circ})^{-1}.$$

$$\Delta C_p : \text{ en cal. M}^{-1} (K^{\circ})^{-1} :$$

$$\Delta a = +21,76; \Delta b = +227,72 \times 10^{-3} T;$$

$$\Delta c = 0,66 \times 10^5 T^2.$$

$$V_{HS^-} : 20,2 \text{ et } V_{S_{2g}} : 24\,789 \text{ (en cm}^3 \text{. M}^{-1}\text{)}.$$

Adaptons-la à la température de l'eau la plus profonde dans laquelle S_2 gaz arrive. Si l'on admet que S_2 , vers 20 km de profondeur, a une pression de 5 000 bars et $fS_2 = 1$, on aura alors en fonction de la pression suivant la profondeur :

TABLEAU IV

| T° C | P bars | fS ₂ |
|------|--------|-----------------|
| 200 | 1 289 | 0,26 |
| 300 | 1 932 | 0,39 |
| 500 | 3 221 | 0,64 |
| 780 | 5 000 | 1 |

On aura alors pour $\langle HS^- \rangle$ les valeurs du tableau suivant :

TABLEAU V

| T° C | pH | Eh = -0,4 <HS ⁻ > | Eh = -0,2 <HS ⁻ > |
|------|----|---------------------------------|---------------------------------|
| 200 | 9 | 7,321 × 10 ⁻³ | 4,022 × 10 ⁻⁷ |
| 200 | 8 | 7,321 × 10 ⁻² | 4,022 × 10 ⁻⁶ |
| 200 | 7 | 7,321 × 10 ⁻¹ | 4,022 × 10 ⁻⁵ |
| 200 | 6 | 7,321 | 4,022 × 10 ⁻⁴ |
| 300 | 9 | 4,737 × 10 ⁻⁷ | 1,44 × 10 ⁻¹⁰ |
| 300 | 8 | 4,737 × 10 ⁻⁶ | 1,44 × 10 ⁻⁹ |
| 300 | 7 | 4,737 × 10 ⁻⁵ | 1,44 × 10 ⁻⁸ |
| 300 | 6 | 4,737 × 10 ⁻⁴ | 1,44 × 10 ⁻⁷ |

$\langle HS^- \rangle^*$ des eaux thermominérales est de l'ordre de 10⁻⁴. Si S_{2g} venant de la profondeur T = 780°, avec $fS_2 = 1$ arrive dans des eaux à 300°, à 200°, i.e, à des profondeurs de 8 000 à 5 000 m et ayant un Eh de -0,4 et des pH plutôt faibles, on arrive à un avis favorable à l'hypothèse envisagée.

* Signifie qu'il s'agit des activités.

REMERCIEMENTS

Parmi les analyses utilisées, nous avons eu en main celles qui nous ont été aimablement communiquées par Monsieur le Professeur Michard, Directeur du Laboratoire de Géochimie des eaux de l'Université de Paris VII. Nous le remercions, ainsi que le C.N.R.S. pour les crédits accordés à l'un de nous (M.S.).

REFERENCES

- Boulègue J. — Formation des eaux thermales sulfurées des Pyrénées-Orientales. Origine du soufre. Géochimie du fer et du cuivre. *J. Ir. Hydrol.*, 1979, 10, 91-102.
- Cazaux F., Canellas J., Thomassin R. — Contribution à la connaissance de la constitution chimique des eaux sulfurées. Cas de Barèges, Barzun, Saint-Sauveur et Uriage. *Ann. Inst. Hydrol. Climatol.*, 1954, 25, 47-74.
- Ghafouri R.H. — *Etude hydrogéologique des sources thermominérales des Pyrénées*. Thèse Université Bordeaux, 1968.
- Guitard G. — *Le métamorphisme hercynien mésozonal et les gneiss ocellés du Massif du Canigou (Pyrénées-Orientales)*. Mémoires du B.R.G.M., 1970, n° 63.
- Jacquot E., Willm. — *Les eaux minérales de la France*. Libr. Polytechnique, Baudry, 1894.
- Letierrier J. — Caractères géochimiques majeurs des formations grenues du Massif du Guerigut (Ariège). In : *94^e Congrès National des Sociétés Savantes*, 177-187. Pau, 1969, tome II, 1970.
- Naumov G.B., Zhyzenko B.V., Khodakovskiy I.L. — *Handbook of thermodynamic Data*. Washington, U.S. Dept. Comm., 1974.
- Ninard B., Besançon M. — Nomenclature des sources d'eaux minérales françaises, partie chimique. *Annales des Mines, Bureau de documentation minière*, Paris, 1961.
- Passavy. — *Inventaire des sources thermominérales du Languedoc-Roussillon et esquisse d'une application géothermique des eaux chaudes*. Thèse de 3^e cycle, Univ. Montpellier, 1976.
- Urbain P. — Introduction à l'étude hydrogéologique des Pyrénées françaises. *Ann. Inst. Hydrol. Climatol.*, 1924, 2.
- Introduction à l'étude hydrologique des Pyrénées françaises. Les sources thermales de la zone axiale. *Ann. Inst. Hydrol. Climatol.*, 1926, 17.

Chimie et origine du soufre dans les eaux thermominérales des Pyrénées-Orientales *

J. BOULEGUE **

(Paris)

Un modèle schématique de l'acquisition d'enthalpie par les eaux peut être donné comme suit. Des eaux météoriques pénètrent dans un massif cristallin le long de failles et atteignent une zone perméable assez profonde où elles sont réchauffées par une source de chaleur. Leur densité diminuant, elles remontent le long d'autres fractures et donnent naissance à des manifestations hydrothermales. Durant leur transit dans les « réservoirs » profonds, leur composition chimique est modifiée par des réactions d'interaction avec la roche à haute température (100-300°C). A l'émergence certaines propriétés peuvent se conserver et constituer ainsi des moyens de prospection des températures acquises par l'eau en profondeur. De telles déterminations exigent que l'on comprenne les phénomènes chimiques qui ont eu lieu en profondeur et les modifications secondaires apportées lors de la remontée des eaux. Nous allons examiner dans cette optique quelques-uns des résultats acquis à partir de l'analyse chimique des eaux des Pyrénées-Orientales en nous intéressant plus particulièrement aux phénomènes liés au soufre, au fer et au cuivre. Nous examinerons aussi les minéraux formés à la sortie des eaux et résultant de l'interaction avec les roches encaissantes.

Nous ne reviendrons pas sur le contexte géologique ni sur les propriétés générales des eaux des

Pyrénées-Orientales qui ont été exposées par Gil Michard. Rappelons brièvement que la plupart des concentrations en éléments chimiques acquises dans les eaux résultent de réactions d'équilibre et dépendent de la température. Par contre, les réactifs libérant les chlorures et les différentes espèces du soufre peuvent être considérées comme irréversibles. Les concentrations de ces espèces dépendent autant de celles des eaux d'infiltration (sulfate) que du lessivage des sulfures au sein de la roche réservoir (sulfure, thiosulfate, sulfate) [1].

TECHNIQUES ANALYTIQUES

Dans les eaux, les espèces du soufre autres que les sulfates sont déterminées par dosage au chlorure mercurique avec une électrode spécifique des ions S^{2-} [2, 3, 4]. Ces dosages sont effectués sous azote afin d'éviter toute oxydation après le prélèvement.

Le fer et le cuivre sont dosés sur échantillons filtrés (0,01 μm), par absorption atomique sans flamme. Les pyrites recueillies à la sortie des sources ont été étudiées au microscope électronique à balayage et par microdiffraction des R.X. [5].

Des mesures de composition isotopique du soufre dans les eaux et les roches ont été également employées.

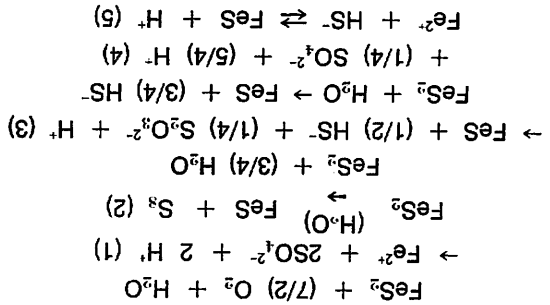
Les concentrations typiques obtenues dans les sources des Pyrénées-Orientales sont $[SO_4^{2-}]$ entre 1,5 et 5×10^{-4} mol/kg, $[H_2S]$ entre 0,7 et $1,9 \times 10^{-4}$ mol/kg, $[S_2O_3^{2-}]$ entre 2 et 15×10^{-6} mol/kg ; $[Fe]$ entre 1 et 13×10^{-8} mol/kg.

* Communication faite dans le cadre du Colloque « Les Eaux Thermales », Luchon, octobre 1981, organisé par l'Association des Géologues du Sud-Ouest.

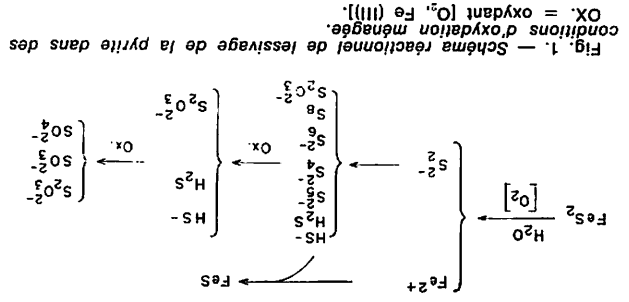
** Laboratoire de Géologie appliquée, Université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75230 PARIS CEDEX 05.

Géochimie du soufre dans les eaux sulfurées des Pyrénées-Orientales. Origine des espèces dissoutes du soufre.

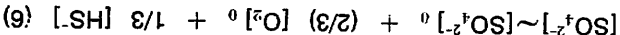
Les eaux d'infiltration, avant d'arriver à des profondeurs où l'interaction avec la roche encaissante sera importante, contiennent des ions sulfates. Cette concentration initiale est sans doute comprise entre $1 \cdot 10^{-4}$ et $3 \cdot 10^{-4}$ mole.kg⁻¹ si l'on se réfère à la composition des eaux superficielles de la région. Par interaction avec les roches l'eau va acquérir de l'hydrogène sulfuré, des traces de thiosulfates et des sulfates. Une intervention bactérienne n'est pas envisageable aux températures profondes déterminées (80 - 120°C). Ces espèces du soufre ne peuvent donc être acquises qu'à partir de l'hydrolyse ou (et) l'oxydation ménagée de minéraux sulfurés. Le granite et le gneiss qui constituent les roches encaissantes contiennent de la pyrite [6, 7]. Au contact de l'eau et de l'oxygène dissous on peut alors avoir les réactions suivantes :



Des ions polysulfures sont également produits par le lessivage de la pyrite et par équilibration entre sulfure et soufre élémentaire. Comme la température profonde est assez élevée, on peut penser que l'équilibre du système $\text{H}_2\text{S}-\text{S}_8-\text{H}_2\text{O}$ est réalisé dans les conditions profondes. Les concentrations en thiosulfate observées sont faibles par rapport aux concentrations d'hydrogène sulfuré ; donc la réaction [3] doit être peu opérationnelle. Un schéma réactionnel du lessivage de la pyrite, dans des conditions d'oxydation de plus en plus poussées, est présentée en figure 1. Les étapes qui y sont représentées peuvent avoir lieu successivement ou concurremment du fait des dissimulations possibles des ions S_n^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$.



Le bilan réactionnel des réactions (1) à (5), compte tenu des remarques ci-dessus, conduit à l'expression :



où [i] est la concentration de l'espèce i et où l'indice 0 indique la condition initiale dans l'eau percolant la roche.

Ces résultats chimiques sont en accord avec les mesures des rapports isotopiques du soufre effectués sur les eaux et les roches. Les rapports isotopiques du soufre des sulfates et de l'hydrogène sulfuré ont été mesurés pour les eaux de la station d'Amélie [8], soit :

$$18 < \delta^{34}\text{SO}_4^{2-} < 19,6\% \quad \text{et} \quad -4,5 > \delta^{34}\text{HS}^- > 3,5\%$$

avec $\delta^3 \text{S} \text{‰} = [(\delta^{34}\text{S}/32\text{S}) \text{échantillon} / (\delta^{34}\text{S}/32\text{S}) \text{référence}] \times 1000$ où la référence est la météorite de Canon-Diablo ($\delta^{34}\text{S}/32\text{S} = 22,22$).

A Amélie on peut estimer que $[\text{SO}_4^{2-}]^0 \sim 3 \times 10^{-4}$ M/kg avec $\delta^{34}\text{SO}_4^{2-} = 9,3\%$ (valeurs des eaux du Mondany à Amélie [8]). Par bilan on en déduit que le soufre dissous acquis par lessivage de la pyrite a la composition isotopique : $14,7 > \delta^{34}\text{HS}^- + \text{SO}_4^{2-} > 24,77\%$.

D'après les réactions (2) à (5) l'équilibre FeS/HS^- doit être réalisé en profondeur et donc on peut calculer [9] : $-2,75 > \delta^{34}\text{FeS} > -1,75\%$. Par bilan des équations (1) à (5) on en déduit que la composition isotopique de la pyrite profonde devrait être $6,0 > \delta^{34}\text{FeS}_2 > 11,5\%$. Cette valeur est proche de la composition isotopique du soufre du granite de Quérigut ($\delta^{34}\text{S} = 7,5\%$) qui est assez bien représentatif des roches profondes des Pyrénées-Orientales. On a donc là un argument supplémentaire en faveur de la pyrite comme minéral source des espèces dissoutes du soufre dans les eaux géothermales des Pyrénées-Orientales.

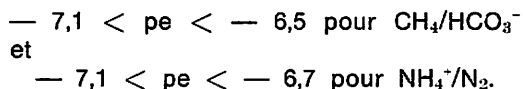
Un argument du même type est obtenu en considérant à partir des mêmes calculs que le sulfate issu du lessivage de la pyrite doit avoir pour composition isotopique : $35,4 > \delta^{34}\text{SO}_4^{2-} > 39,9$ et donc en profondeur on a $\delta^{34}\text{SO}_4^{2-} - \delta^{34}\text{HS}^- \leq 44,4$. Cette valeur est en bon accord avec les mesures de fractionnement isotopique $\text{HS}^-/\text{SO}_4^{2-}$ vers 110°C [9, 10], soit $\delta^{34}\text{SO}_4^{2-} - \delta^{34}\text{HS}^- = 43,4$.

Cet accord montre que HS^- et SO_4^{2-} acquis en profondeur ont pour origine le même minéral (FeS_2). Une autre conséquence est que le géothermomètre isotopique $\text{HS}^-/\text{SO}_4^{2-}$ peut sans doute être appliqué à des températures proches de 100°C dans le cas des eaux des Pyrénées Orientales, moyennant une correction due aux sulfates des eaux météoriques. Donc une série de résultats chimiques, électrochimiques et isotopiques sont en accord sur le fait que la pyrite FeS_2 est sans aucun doute le minéral source des espèces dissoutes du soufre dans les

eaux géothermales des Pyrénées Orientales. Schématiquement ces eaux sont donc des eaux météoriques qui en s'enfonçant acquièrent des espèces dissoutes. Ces eaux météoriques contiennent initialement des sulfates et de l'oxygène dissous. Des facteurs géographiques et climatologiques influent sur ces concentrations initiales. En profondeur, c'est-à-dire à haute température, la pyrite est hydrolysée et aussi partiellement oxydée ; il en résulte un enrichissement en sulfure, polysulfures et sulfate et sans doute un dépôt de sulfure de fer. Lors de la remontée des eaux les ions polysulfures sont dismutés en sulfure et thiosulfate. A partir de l'analyse des espèces dans l'eau à l'émergence on peut donc prévoir l'évolution antérieure des espèces dissoutes et donc leur origine.

Comportement irréversible du soufre lors de la formation et de la remontée des eaux

A partir des concentrations en carbonate ($\Sigma[\text{CO}_2]$) et en méthane (CH_4) d'une part, et des concentrations en azote (N_2) et en ammoniacque (NH_4) dans les eaux d'Amélie [8, 11], on peut calculer les conditions d'oxydoréduction correspondant aux couples $\text{CH}_4/\text{HCO}_3^-$ et NH_4^+/N_2 . Ainsi pour $\text{pH} = 8,5$ et $T = 110^\circ\text{C}$ on obtient :



Ces deux couples correspondent donc à des conditions redox identiques. En profondeur, on aurait donc pe compris entre $- 7,1$ et $- 6,7$. Ce sont là les conditions redox imposées par l'environnement lors de la formation des eaux des Pyrénées. On peut remarquer que ces conditions correspondent à la stabilité du sulfure de fer FeS et non à celle de la pyrite. On retrouve là un résultat en accord avec les processus chimiques (1) à (5).

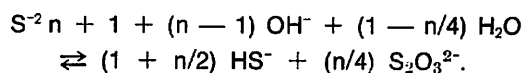
Pour le couple $\text{HS}^-/\text{SO}_4^{2-}$, le pe serait d'environ $- 5,7$ à $- 5,5$; pour le couple $\text{S}_n^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ le pe serait d'environ $- 6,3$ à $5,9$ d'après les résultats des analyses. Donc d'après les résultats précédents ce sont les ions HS^- et les polysulfures qui doivent correspondre à l'équilibre avec les conditions de pe imposées par l'environnement en profondeur. Les sulfates sont issus d'une part de l'oxydation irréversible de la pyrite et de l'apport par les eaux météoriques ; ils ne sont donc pas en équilibre chimique avec les sulfures. L'équilibre chimique entre sulfate et sulfure ne se produit d'ailleurs que pour des conditions de température beaucoup plus élevées que celles trouvées dans les Pyrénées [13].

En contradiction apparente avec ces résultats électrochimiques, on trouve que les concentrations en ions polysulfures sont négligeables à l'émergence, soit :

$$5 \times 10^{-10} < \Sigma n [\text{S}_n^{2-}] < 4 \times 10^{-9} \text{ atg.S.kg}^{-1} \text{ [12].}$$

La concentration en ions polysulfures dans les conditions en profondeur peut être estimée à partir des valeurs calculées de T et pH profonds [14] en supposant que la concentration en sulfure ne subit pas de grandes variations lors de la remontée de l'eau, à partir des données sur le système $\text{H}_2\text{S}-\text{S}_8-\text{H}_2\text{O}$ et en supposant que ces données sont pratiquement indépendantes de la température entre 25 et 140°C [15]. On trouve alors que pour les eaux des Pyrénées-Orientales, dans les conditions régnant en profondeur, les concentrations $\Sigma n [\text{S}_n^{2-}]$ sont comprises entre 2.10^{-6} et 5.10^{-7} atg.S.kg⁻¹.

Lors de la remontée des eaux vers les points d'émergence, la température baisse et l'on s'éloigne du domaine de stabilité des ions polysulfures [14]. Dans ces conditions, il est probable que les ions polysulfures sont dismutés en thiosulfate et hydrogène sulfuré [16, 17], selon :



A l'émergence la quantité d'ions polysulfure en solution est alors beaucoup plus faible puisque $\Sigma n [\text{S}_n^{2-}]$ serait compris entre 4.10^{-9} et 5.10^{-10} atg.S.kg⁻¹ [12] ; de telles concentrations sont en bon accord avec l'étude électrochimique des eaux. On peut donc en conclure que si les ions polysulfurés existent en profondeur dans les eaux chaudes des Pyrénées-Orientales, ils subissent une dismutation lors de la remontée des eaux vers les points d'émergence où leur concentration est alors négligeable.

Géochimie du fer et précipitations de sulfures

Nous allons maintenant examiner le comportement du fer et des dépôts de sulfures lors de la remontée et de la sortie des eaux hydrothermales.

Comportement lors de la remontée des eaux

Il existe une relation entre le fer dissous et les sulfures dissous comme on peut le voir en figure 2 : $[\text{Fe}]$ diminue quand $\Sigma[\text{H}_2\text{S}]$ augmente. Cependant ce type de corrélation doit être manipulé avec précaution car toutes les eaux ne correspondent pas à la même température d'émergence, et des paramètres qui ne dépendent pas de l'eau elle-même peuvent influencer sur la concentration d'éléments traces comme le fer. En effet on a remarqué que la concentration en fer variait selon le mode d'échantillonnage de l'eau. Ainsi sur la source Beauté (Thués) si on filtre l'eau à chaud on trouve $[\text{Fe}] = 1,68.10^{-7}$ mole/kg, et si on filtre l'eau à froid on trouve $3,8.10^{-8}$ mole/kg. Donc il peut y avoir soit une mobilisation secondaire de fer après le prélèvement (précipitation de FeS ou adsorption sur des hydroxydes après contact avec l'air), soit aussi une contamination par lessivage du filtre à chaud. Une étude de laboratoire nous a montré que cette deuxième cause d'incertitude ne doit sans

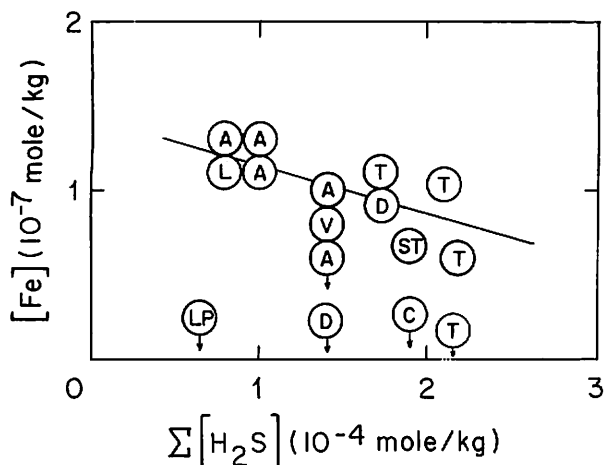


Fig. 2. — Relation $[Fe] - \Sigma[H_2S]$ dans les eaux des Pyrénées-Orientales. Les points éloignés de la courbe avec une flèche vers le bas (\downarrow) correspondent à une précipitation de FeS après le prélèvement. Les lettres dans les points correspondent aux stations : A = Amélie-les-Bains ; C = Canaveilles ; D = Dorres ; L = Llo ; LP = La Preste ; ST = Saint-Thomas ; T = Thués ; V = Vernet.

doute pas jouer. Néanmoins les résultats obtenus devront tenir compte de ces causes d'incertitudes.

Le diagramme pe-pH du système Fe-S-H₂O montre que les conditions pe-pH de l'environnement correspondent au domaine de formation de FeS, ce qui est en accord avec les réactions (1) à (5) et les processus illustrés en figure 1. On doit donc s'attendre à ce que les eaux soient en équilibre avec FeS dans les conditions qui règnent en profondeur. Dans ces conditions si la quantité « $(Fe^{2+}) \cdot (HS^-)/(H^+)$ », où (i) est l'activité de l'ion i, est supérieure au produit de solubilité de FeS, $K_s(FeS)$, dans les conditions à l'émergence, cela signifiera que l'eau sort sursaturée vis-à-vis de FeS. Si au contraire on trouve que cette quantité est inférieure à $K_s(FeS)$, cela signifiera que l'on est sous-saturé vis-à-vis de FeS.

A partir des données thermodynamiques disponibles [18] et des résultats de la simulation de variation de température de l'eau [14], on peut calculer la variation de la quantité « $(Fe^{2+}) \cdot (HS^-)/(H^+)$ » en fonction de la température en supposant que l'équilibre avec FeS est réalisé dans les conditions qui règnent en profondeur. Ces variations peuvent être comparées aux valeurs trouvées à l'émergence. Nous présentons les résultats de ces calculs en figure 3.

On peut remarquer que dans la plupart des eaux le fer correspond à une évolution dans le domaine de sursaturation de FeS à partir de l'équilibre supposé réalisé en profondeur. Donc il n'y aurait pas de reprécipitation de sulfure de fer lors de la remontée des eaux. Cette précipitation n'a sans doute pas lieu car la concentration du fer étant très faible, l'enthalpie libre de formation de nuclei de

FeS est trop élevée. Par contre, dans les eaux où l'on pouvait penser avoir eu une mobilisation secondaire du fer (fig. 2), on tend à se rapprocher de l'équilibre avec FeS. Ce serait donc FeS qui pourrait précipiter après échantillonnage de l'eau.

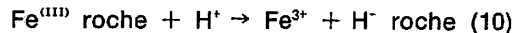
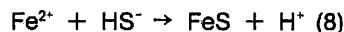
Formation de sulfures de fer à l'émergence

La source « Beauté » à Thués ($T = 66,4^\circ C$) nous a permis de recueillir des dépôts dans le tuyau de sortie de l'eau ; au contact de l'eau et sans contact avec l'atmosphère. Les examens microscopiques et les analyses y montrent la présence de traces d'un sulfure de fer. Aucune autre identification n'a été possible.

Aux sources « Cascade » à Thués et les « Aigues » à Saint-Thomas, le fort débit et le non-aménagement de captage des eaux a permis d'échantillonner la roche au contact de la sortie de l'eau hydrothermale (températures de $77,8$ et $60,5^\circ C$ respectivement). On a observé des pyrites au contact de l'eau hydrothermale.

L'examen visuel et au microscope électronique montre plusieurs tailles de pyrite. Certains cristaux, en plages allongées, sont millimétriques. On remarque aussi des cristaux de l'ordre de 50 à 100μ , présentant des macles dans les joints de grains de feldspaths et micas, à quelques millimètres de la surface de la roche au contact de l'eau. Enfin, on remarque des pyrites de tailles inférieures à $0,5 \mu$ qui sont associées assez intimement avec les micas recueillis dans la fraction argileuse.

L'étude des conditions pe-pH de sortie des eaux a montré que la pyrite n'était pas stable dans les conditions de sortie des eaux sulfurées. On peut éventuellement observer la formation de sulfure de fer FeS. Dans ces conditions et vu l'association pyrite-mica, il est probable que cette pyrite croisse à partir d'un apport en fer ferrique du mica et d'hydrogène sulfuré de l'eau hydrothermale en l'absence de polysulfures dissous [12]. Un processus possible serait :



La formation de pyrite ne serait donc possible que dans des environnements où les ions polysulfures produits par réaction du fer et de HS^- seraient immobilisés et ne pourraient pas se rééquilibrer avec l'ensemble de l'eau hydrothermale. Les joints de grains cristallins et les clivages des micas peuvent fournir de tels environnements. La forme quasi sphérique des pyrites associées aux micas laisse d'ailleurs penser qu'elles se sont développées par un processus lent mettant en jeu la diffusion des éléments dissous vers les cristallites déjà formés.

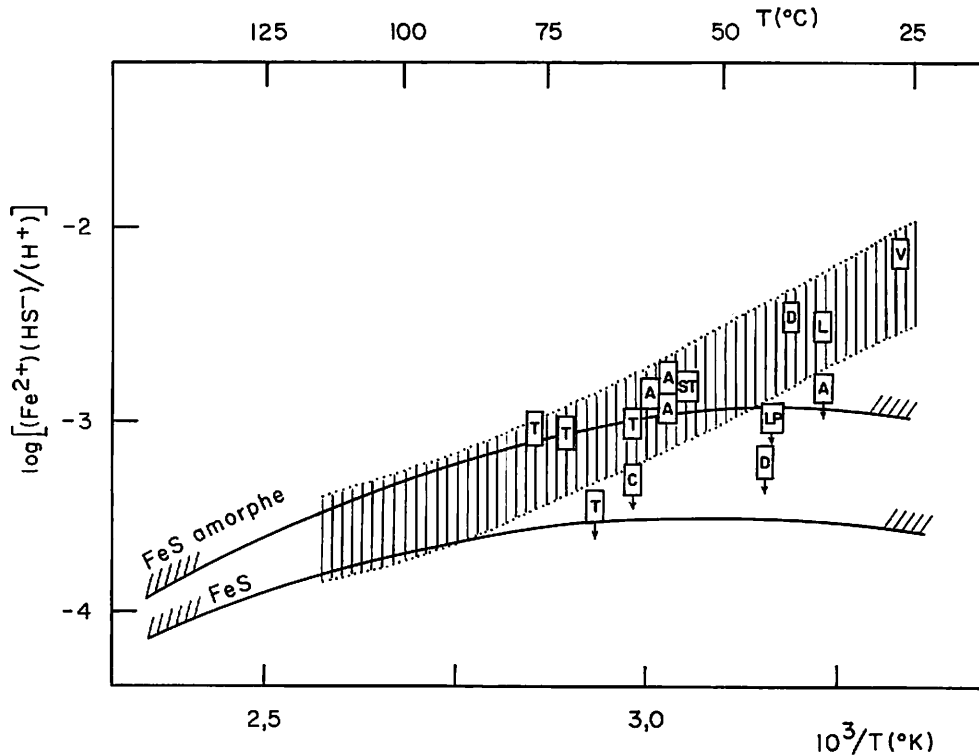


Fig. 3. — Variation du produit ionique $[(\text{Fe}^{2+}) \cdot (\text{HS}^-)/(\text{H}^+)]$ en fonction de la température. (même figuré des points représentatifs qu'en figure 2).

Cependant l'analyse isotopique des cristaux de pyrite formés à la surface de l'aplite des Aigues donne $\delta^{34}\text{S}(\text{FeS}_2) = -21,6 \text{ ‰}$, alors que pour les eaux hydrothermales de cette région : $15,8 < \delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4^{2-}) < 17,2 \text{ ‰}$ et $-4,5 < \delta^{34}\text{S}(\text{HS}^-) < -3,5 \text{ ‰}$. Hors les processus biologiques il est très difficile d'obtenir une valeur du soufre de pyrite aussi négative à partir du sulfate ou du sulfure dissous. D'autre part, le bilan isotopique fait sur les sources des Pyrénées a montré que le rapport isotopique de la pyrite profonde lessivée est $6,0 < \delta^{34}\text{S}(\text{FeS}_2) < 11,5 \text{ ‰}$ en accord avec les analyses isotopiques du soufre du massif de Quérigut $\delta^{34}\text{S} = 7,5 \text{ ‰}$ [1]. Donc la pyrite trouvée sur les roches à l'émergence de la source des Aigues est sans doute issue, en majeure partie, d'un processus biologique.

Bien que la source Les Aigues émerge à une température de $60,5^\circ\text{C}$, plusieurs observations permettent de confirmer la présence possible de processus bactériens. Tout d'abord à environ deux mètres de l'émergence, il existe de nombreux développements de micro-organismes oxydant l'hydrogène sulfuré (probablement du type Beggiatoaceae, Thiorhodaceae ou Chlorobacteriaceae remarqués par leurs couleurs et l'association avec du soufre élémentaires [19]. Ces micro-organismes peuvent résister jusqu'à des températures d'environ 70°C . Il est donc possible, qu'à la limite ils puissent donner

lieu à des colonies très disséminées (et non observables à l'œil nu) dans les conditions régnant à l'émergence même de la source. D'autre part, sur des photos prises en microscopie électronique il est possible d'observer des tests de type diatomée.

La formation de pyrite par l'intermédiaire de micro-organismes serait possible car ils stockent du soufre élémentaire dans leur cellule. Au contact de l'eau, et après relargage du soufre élémentaire on peut avoir production de polysulfures selon $(n/8)\text{S}_8 + \text{HS}^- \rightarrow \text{S}_n^{2-} + \text{H}^+$, puis des réactions semblables aux réactions (7) à (9) permettront de synthétiser la pyrite, au contact de l'eau et des micas.

A l'émergence de Cascade on observe que des pyrites associées à des micas. La température d'émergence de Cascade est en effet plus élevée et les développements bactériens y sont moins probables.

On aurait donc, associés aux sorties des sources sulfurées des Pyrénées-Orientales, deux types de pyrite. Un premier type croissant par un processus non biologique, sans doute par interaction de l'eau sulfurée avec le fer ferrique des micas. Un deuxième type qui serait associé à une formation bactérienne qui pourrait éventuellement produire les polysulfures et créer les micro-environnements nécessaires à la croissance de ces pyrites.

CONCLUSION

Donc les eaux chaudes des Pyrénées-Orientales sont sans doute des eaux d'origine météorique qui acquièrent des composés dissous par équilibration avec les minéraux des granites et des gneiss encaissants. Les espèces du soufre (hydrogène sulfuré, thiosulfate, sulfate) sont acquises par lessivage de la pyrite, comme le montre l'accord entre les modèles chimiques et les données analytiques, électrochimiques et isotopiques. En profondeur l'équilibre du système $H_2S-S_8-H_2O$ devrait être réalisé dans les conditions oxydo-réductrices imposées par l'environnement. Dans ces conditions la concentration du fer dépend de la précipitation de FeS .

Lors de la remontée des eaux les ions polysulfurés sont dismutés en hydrogène sulfuré et thiosulfate. Le fer dissous devient sursaturé vis-à-vis de FeS (degré de sursaturation : 10 à 20). Cependant ce

minéral ne semble pas précipiter lors de la remontée des eaux, sans doute car, les éléments métalliques étant à l'état de traces, l'enthalpie libre de formation de nuclei cristallins est trop élevée pour se produire au sein de la seule phase aqueuse.

A la sortie des eaux on peut éventuellement observer la formation de pyrite. Elle est due soit à une action bactérienne, soit à une évolution irréversible de l'eau hydrothermale, dans des microsystèmes, au contact de la roche. Dans ces deux cas, la formation de pyrite ne peut pas être utilisée pour reconstituer la composition des eaux lui ayant donné naissance. Cet exemple montre qu'il faut interpréter avec précautions la présence de minéraux et de fluides associés dans les conduits et filons hydrothermaux.

RÉFÉRENCES

1. Boulègue J. — Formation des Eaux thermales sulfurées des Pyrénées-Orientales. Origine du soufre. Géochimie du fer et du cuivre. *J. Fr. Hydrologie*, 1979, 10, 91-102.
2. Boulègue J. et Popoff G. — Nouvelles méthodes de détermination des principales espèces ioniques du soufre dans les eaux naturelles. *J. Fr. Hydrologie*, 1979, 10, 83-90.
3. Boulègue J., Ciabrini J.P., Fouillac C., Michard G., Ouzounian G. — Field titrations of dissoveld sulfur species in anoxic environments. Geochemistry of Puzichello waters (Corsica, France). *Chem. Geol.*, 1979, 25, 19-29.
4. Boulègue J. — Simultaneous determination of sulfide, polysulfides and thiosulfate as aide to ore exploration. *Geochem. Explor.*, 1981, 15, 21-36.
5. Boulègue J., Fouillac C., Michard G. — Dépôts minéraux à l'émergence de sources thermales sulfurées sodiques des Pyrénées-Orientales. *Bull. Minéralogie*, 1981.
6. Autran A., Fontelles M., Guitard G. — Relation entre les intrusions de granitoïdes, l'anatexie et le métamorphisme régional considérés principalement du point de vue du rôle de l'eau : cas de la chaîne hercynienne des Pyrénées-Orientales. *Bull. Soc. Géol. France*, 1970, 12, 673-731.
7. Guitard G. — Le métamorphisme méso-zonal et les gneiss œillés du massif du Canigou (Pyrénées-Orientales). *Pétrologie et structure*. Thèse d'Etat, Paris, 1965.
8. Baubron J.C., Bosch B., Desgranges P., Halfon J., Leleu M., Marce A., Sarcia C. — Recherches géochimiques sur les eaux thermales d'Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales) et de la zone de Plombière-les-Bains (Vosges). *Seminar on geothermal Energy. EUR 5920, vol. II*, Bruxelles, CEE, 1977.
9. Ohmoto H. — Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. *Economic Geology*, 1972, 67, 551-578.
10. Robinson B.W. — Sulphur isotope equilibrium during sulphur hydrolysis at high temperatures. *Earth Planet. Sc. Let.*, 1973, 18, 443-450.
11. Boulègue J., Fouillac C., Michard G., Ouzounian G. — Applications géothermiques de l'étude géochimique des eaux thermales des Pyrénées-Orientales. *Seminar on geothermal Energy. EUR. 5920, vol. II*, 455-468, Bruxelles, CEE, 1977.
12. Boulègue J. — Electrochemistry of reduced sulfur species in natural waters. I - The H_2S-H_2O system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1978, 42, 1439-1445.
13. Ellis A.J., Giggenbach W. — Hydrogen sulphide ionization and sulphur hydrolysis in high temperature solution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1971, 35, 247-260.
14. Michard G. — Modification de la répartition des espèces chimiques lors du refroidissement d'une eau thermale. *Ç.R. Acad. Sc., Paris*, 1977, 284 (C), 949-952.
15. Giggenbach W.F. — Equilibria involving polysulfide ions in aqueous sulfide solutions up to 240°; *Inorg. Chem.*, 1974, 13, 1724-1730.
16. Cherlubiez E., Weibel R. — Sur l'hydrolyse du soufre par l'eau au-dessous de 100°. *Helv. Chim. Acta*, 1936, 29, 796-806.
17. Gustafsson L., Teder A. — The thermal decomposition of aqueous polysulfide solutions. *Svensk Papperstidning*, 1969, 72, 249-260.
18. Biernat R.J., Robins R.G. — High-temperature potential/pH diagrams for the iron-water and iron water sulphur systems. *Electrochim. Acta*, 1972, 17, 1261-1283.
19. Roy A.B., Trudinger P.A. — The biochemistry of inorganic compounds of sulphur. *Cambridge University Press*. 1970.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'HYDROLOGIE ET DE CLIMATOLOGIE MÉDICALES

Séance du 14 décembre 1981

Compte rendu

G. GIRAULT

Elle était consacrée à la Climatologie et s'est déroulée sous la Présidence du Pr Grandpierre.

Étaient présents :

— S. Campenio (Toulon), A. Carrie (Limoges), Guichard des Ages (La Roche-Posay), J. Follereau (Bagnols de l'Orne), Gury (Plombières), F. Cabanel (Challes), J.M. Darrouzet (Luchon), Marotte (Brétigny-sur-Orge), Ch. Boutelier (Brétigny-sur-Orge), Godennenche (La Bourboule), J. Godin (Bagnères-de-Bigorre), P. Baillet (La Roche-Posay), J. Francon (Aix-les-Bains), L. Saiag (Cauterets), A. Pajault (Bourbon-l'Archambault), Robin de Morhery (Gréoux), Founau (Lamalou), Demaria Pesce (Paris), Stupfel (Paris), Masse (Paris), Biget (Paris), J. Berthier (Royat), Maugeis de Bourguesdon (Luchon), Flurin (Cauterets), Capoduro (Aix-en-Provence),

Le professeur J.J. Dubarry,

Les membres du bureau, Pdt J. Thomas (Vittel), Vice-Pdt : J. Darrouzet (Luchon), R. Louis (Bourbon-Lancy), Secrétaire Général : G. Girault (Plombières), Secrétaire Général adjoint : J. Carles (Capvern), Secrétaire de Séance : J. Berthier (Royat).

Étaient excusés : Drs Ribollet, Viala, Dany, Martin, Gerbaulet, Valton, Ebrard. Le Professeur Boullange.

Dès l'ouverture de la séance, l'assemblée procède à l'élection du Docteur Robert Chambon : parrains Docteurs Follereau et Lambleng.

On entend ensuite les communications suivantes, après une introduction par le Professeur Grandpierre.

A.C. Decouflé : « Les prévisions climatiques à moyen terme ».

H. Stupfel : « Rythmes climatiques et rythmes biologiques ».

Interventions des Docteurs Thomas, Jean et Boutelier.

Drs Marotte et Timbal : « Rythme circadien fonctionnel de la température chez l'homme ».

Interventions des Drs Boutelier, Stupfel, Pajault.

Dr C. Boutelier : « Vol en avion par temps chaud. Incidences physiologiques et ergonomiques des problèmes climatiques ».

Drs G. Carette, L. Adenis, Y. Houdas : « La réponse cardiaque à l'effort à haute altitude (4 200 m - 5 700 m) : étude réalisée lors de la première descente à skis de l'Annapurna ».

Dr R. Loubière : « Réflexions sur l'adaptation du sport européen au climat tropical ». Intervention du Dr Biget.

Dr Ph. Cauchois : Thérapeutiques adjuvantes et complémentaires de la cure climatique dans l'asthme infantile. « Pour une thérapeutique globale ».

Introduction

R. GRANDPIERRE *

(Paris)

Cette année encore, on peut dire que les études de climatologie prennent de plus en plus d'importance dans tous les domaines touchant la biologie.

Il y a eu, ces temps derniers, de nombreuses réunions médicales au cours desquelles furent évoqués l'importance des facteurs de climat.

On s'est, bien sûr, intéressé à l'action directe de certains

de ces facteurs, dont on connaît depuis longtemps une partie de leur action. Déjà Hippocrate soulignait l'influence des vents, des eaux et de l'air sur certaines maladies. Par la suite on a, petit à petit, déterminé les principales caractéristiques physiques et chimiques de ces facteurs ainsi que leur action. Plus récemment on a découvert d'autres facteurs d'environnement : radioactivité, ionisation, etc... dont l'action physiopathologique n'est pas négligeable. Il en existe peut-être encore d'autres dont il faudra étudier l'activité biologique.

* Centre biologique Thermoclimatique, 5 ter, rue d'Alesia, 75014 PARIS.

Mais lorsqu'on examine les travaux exposés au cours des réunions qui se sont tenues ces temps derniers, on est frappé de voir que les recherches faites s'orientent surtout sur le rôle de tous ces facteurs climatiques en *médecine préventive*.

Par exemple, au derniers Entretiens de Bichat, notre Collègue et ami François Besançon insistait sur les incidences météorologiques de l'apparition des maladies cardiovasculaires. A la troisième Réunion d'Actualité Angiologiques qui avait lieu en novembre dernier, on montrait le rôle de la pression atmosphérique et de la température ambiante sur le drainage lymphatique et la surcharge du réseau veineux superficiel, en insistant sur le rôle de cette action dans la préparation des troubles veineux divers.

Il a été démontré, d'autre part, comment la pollution atmosphérique par sa constitution physique et chimique répandue dans l'air de certaines maladies vers des pays dont les conditions climatiques étaient très différentes. Certains de ces problèmes ont été repris au Congrès International de Médecine Aéronautique et Spatiale de Nancy en septembre organisé par notre collègue Boullangé. En outre, à cette réunion, l'action d'un nouveau facteur d'ambiance : l'absence de pesanteur permanent au cours de voyages spatiaux, a été analysés. On a envisagé l'acclimatation possible et les troubles physiopathologiques apparaissant au retour en climat terrestre.

En médecine aéronautique, les réunions de Lomé (Togo) en février et du Bourget en juin, ont attiré l'attention sur le transport par air de certaines maladies vers des pays dont les conditions climatiques étaient très différentes. Certains de ces problèmes ont été repris au Congrès International de Médecine Aéronautique et Spatiale de Nancy en septembre organisé par notre collègue Boullangé. En outre, à cette réunion, l'action d'un nouveau facteur d'ambiance : l'absence de pesanteur permanent au cours de voyages spatiaux, a été analysés. On a envisagé l'acclimatation possible et les troubles physiopathologiques apparaissant au retour en climat terrestre.

La médecine du travail s'est trouvée aussi intéressée cette année par l'action de certains facteurs d'ambiance. Lors d'une réunion récente de la Société Européenne sur le Sommeil, certains auteurs ont étudié non seulement l'action directe de certains facteurs d'ambiance (bruits, lumière, etc...) mais surtout l'action physiologique du travail ouvrier selon « les trois huit ». Il ressort de cette étude que les sujets tolérant mal les rotations dans leur travail présentent une amplitude circadienne plus réduite de leur température centrale, de leur force de préhension, de leur VEMS et de leur fréquence cardiaque. Par ailleurs, on arrivait à la conclusion qu'un certain nombre de maladies dont l'étiopathologie est mal comprise ont une symptomatologie qui suggère, à l'origine, un désordre chronobiologique.

Cette dernière constatation, nous conduit à penser à certains problèmes sur lesquels j'avais déjà attiré votre attention l'an dernier à notre séance de climatologie.

C'est d'abord l'importance des rythmes biologiques par rapport aux nombreux facteurs d'ambiance. Le réglage de ces rythmes est-il influencé par les variations météorologiques et climatiques ? Les actions des facteurs climatiques

sont-elles variables suivant leur application dans une phase ou une autre des rythmes biologiques ? Il a été démontré, en effet, que l'action de certains médicaments était différente selon l'administration au cours des différentes phases des rythmes biologiques.

Ces faits peuvent intéresser particulièrement les membres de notre Société dont les prescriptions thérapeutiques se font suivant les saisons et les heures de la journée.

C'est pourquoi, j'ai demandé à notre ami Maurice Stupfel, directeur d'un groupe de recherches de l'INSERM concernant les mécanismes physiopathologiques des nuisances de l'environnement et qui s'est aussi spécialisé dans les rythmes biologiques, de venir nous parler de quelques uns de ces aspects chronobiologiques.

Le second point sur lequel s'était déjà porté notre attention l'an dernier, était celui des rythmes possibles en climatologie mais surtout des prévisions météorologiques pour de prochaines saisons thermales et climatiques.

Il faut remarquer qu'il s'agit là d'un problème très intéressant d'un point de vue général, mais aussi pour de très nombreuses professions, non seulement dans le cadre thermoclimatique, mais aussi en agriculture, hôtellerie, travaux extérieurs (publics ou privés) etc... En aviation, l'accès rapide aux renseignements météorologiques pour le planning de vols en perspective est aussi très recherché car c'est un élément essentiel de la sécurité aérienne. L'Administration Fédérale de l'Aviation aux Etats-Unis nous promettait récemment qu'il existerait un « briefing » météorologique automatique d'ici deux ou trois ans.

Espérons que nous pourrons disposer bientôt de ce « briefing » pour organiser d'autres voyages et surtout les possibilités de traitement dans les stations thermales et climatiques.

Avec l'idée de savoir où nous en sommes à ce point de vue, j'ai demandé à Monsieur Decouflé, directeur du Laboratoire de prospective appliqué à la DGRST de bien vouloir nous dire où en étaient les prévisions climatiques à moyen terme et ce qu'on pouvait actuellement en espérer.

C'est un spécialiste de ces problèmes, et l'article qu'il avait publié à ce sujet il y a quelques années dans le Progrès Scientifique m'avait passionné.

Je pense que l'étude qu'il vous présentera aujourd'hui vous intéressera vivement.

Notre programme aujourd'hui comportera, en outre, d'autres communications dans le cadre des voyages et des sports dans un milieu climatiquement très différent et certaines observations faites en climatologie thérapeutique.

Ce sont des thèmes plus classiques mais certainement aussi intéressants.

Je remercie tous les auteurs, ces amis, qui ont bien voulu répondre à mon appel pour l'organisation de cette séance de travail et je donne la parole au premier inscrit au programme.

Les prévisions climatiques à moyen terme : objets et applications possibles

A.-C. DECOUFLÉ *

Par « prévisions climatiques à moyen terme », il faut comprendre des conjectures aussi fiables que possible relatives à des variations moyennes des conditions atmosphériques sur une longue période, généralement considérée comme de l'ordre du mois (au minimum), de la saison, voire de l'année ou d'un ensemble d'années. L'observation ou l'anticipation de variations moyennes¹ distingue clairement la climatologie de la météorologie, science de la connaissance de situations atmosphériques instantanées.

Conjectures fiables : ce qualificatif ambigu désigne en première approximation toute prévision dont l'objet et le mode de formulation sont tels que puissent être pris sur son fondement une décision ou un ensemble de décisions par des acteurs sociaux dotés de compétences et de pouvoirs appropriés, ainsi que des moyens de mettre en œuvre — soit par eux-mêmes, soit indirectement — les décisions prises.

Prévisions à moyen terme : première difficulté à résoudre. Elle est de taille. Le moyen terme est en effet le plus souvent un champ temporel mal défini : ce qui n'est ni du conjoncturel ni de la longue durée, de l'histoire à fluctuations ou oscillations lentes, se laisse mal saisir. En l'espèce pourtant, un repère facilite la tâche délicate de la délimitation des séquences de phénomènes, celui de la saison, soit — pour l'hémisphère nord en tout cas — une période de trois mois pleins. C'est là a priori le moyen terme du climatologue. Celui du météorologue est — au moins aujourd'hui — d'un tout autre ordre de grandeur : trois à six jours². D'où le danger d'une confusion dans l'esprit des utilisateurs de prévisions à moyen terme relatives au temps et au climat.

En une telle matière, il y a du reste conflit possible entre deux autres moyens termes : d'une part, celui ou ceux que le météorologue et le climatologue peuvent appréhender à un moment donné de leurs capacités d'investigation et de calcul ; d'autre part, celui qu'il importe à l'utilisateur de connaître. Le moyen terme scientifique se distingue ainsi du moyen terme opérationnel. Leurs déterminations respectives sont l'affaire de disciplines transversales du type de l'agro-météorologie.

LES PRÉVISIONS CLIMATIQUES A MOYEN TERME : CE QUE L'ON PEUT EN ATTENDRE

Rappelons pour commencer que de telles prévisions, au sens plus haut défini, n'existent pas aujourd'hui, sauf au niveau d'exercices de laboratoire (modélisations, simulations).

¹ L'expression de « variations moyennes » recouvre également les changements typiques de telle ou telle situation climatique (à l'intérieur de la période étudiée) ainsi que les phénomènes d'auto-corrrections de telle ou telle « anomalie » passagère.

² Dix jours d'ici à 1985, si les engagements du Centre Européen de prévisions météorologiques à moyen terme (Bracknell, Royaume-Uni) peuvent être tenus.

* Directeur du laboratoire de Prospective Appliquée.

Les experts s'accordent pourtant généralement pour admettre que de telles prévisions pourront exister à un niveau opérationnel d'ici à dix à vingt ans. Ils en attendent en particulier de grands bénéfices pour la mise en valeur des ressources végétales et animales ainsi que, de façon plus large, pour l'optimisation des opérations d'équipement et d'aménagement du territoire. Concentrons-nous sur le premier point.

« Si la plupart des activités humaines sont soumises aux aléas du temps, peu le sont au même titre que l'agriculture, l'élevage ou la pêche en mer, qui constituent pratiquement les seules ressources alimentaires de l'humanité » (Patrick Brochet). Ces rubriques, auxquelles il conviendrait d'ajouter la sylviculture et l'aquiculture, renvoient

— en premier lieu, aux promesses de l'agro-météologie, c'est-à-dire de « l'étude des climats et du temps en vue d'abord de mieux utiliser les forces constructives de l'atmosphère pour la reproduction de matière végétales et animales utiles et, ensuite, de mieux lutter contre les fléaux météorologiques destructeurs de cette production » (Etienne Bernard).

— en second lieu, aux enjeux de stratégies agro-alimentaires à long terme, au niveau de l'élaboration desquelles la prise en compte des facteurs climatiques apparaît d'ores et déjà comme décisive, et ne cessera plus d'être approfondie dans l'avenir. La consultation des travaux américains disponibles ne laisse guère de doute sur ce point¹.

L'une et l'autre de ces évocations appelleraient maints commentaires. Mais il importe de garder dès maintenant en mémoire quelques estimations avancées en vue d'illustrer l'importance de la variable climatique dans l'évolution à long terme de la situation agro-alimentaire de telle ou telle région. On a ainsi pu montrer « qu'un déplacement des moussons d'un degré vers le sud pourrait entraîner une diminution de 168 mm des précipitations annuelles sur la frange nord des pays de moussons. Pour prendre un autre exemple, on a estimé qu'une diminution de trois degrés de la température annuelle moyenne au Canada et en URSS pourrait entraîner une baisse de 50 p. cent de la production agricole dans ces pays »².

¹ La plupart des personnes que nous avons interrogées ont d'elles-mêmes — quelle que fût par ailleurs leur spécialité — insisté sur les aspects agro-alimentaires du dossier. Il y a à cela deux raisons principales. L'une est conjoncturelle : l'impuissance ressentie devant la sécheresse de 1976 a, de toute évidence, laissé des traces et constitué des réflexes — y compris des réflexes de conjuration de l'échec (du type : « assurément, nous avons été, du début à la fin du phénomène, incapables de prévoir et largement impuissants à agir. Mais il s'agissait d'une situation tout à fait exceptionnelle » — sous entendu : qui n'a guère de chances de se reproduire...). L'autre est plus profonde et mérite d'être soulignée : la nécessité impérieuse de réfléchir désormais en termes de stratégies agro-alimentaires à longue portée est clairement ressentie, et la conscience du retard relatif de la recherche française en ce domaine est de plus en plus répandue.

² Etudes réalisées en 1974 au sein des Universités de Californie et du Wisconsin. On n'insistera pas — c'est l'évidence — sur le fait que ces études concernent des régions dont les traits géo-politiques et les caractères climatiques sont bien particuliers. De tels travaux seraient largement privés de sens dans le cas d'un pays tel que le nôtre.

Quoi qu'il en soit de ces estimations, utiles en tout cas à fixer l'attention sur l'importance des enjeux en question, on peut regrouper les questions relatives aux incidences possibles de prévisions climatiques fiables à moyen terme sur la mise en valeur des ressources végétales et animales sous quatre rubriques principales :

- la recherche agronomique ;
- les productions agro-alimentaires nationales et leurs modes de gestion ;
- les acteurs extérieurs ;
- enfin, les stratégies agro-alimentaires à moyen et à long termes, qui constituent la traduction pratique de la maîtrise combinée des trois premiers facteurs.

Rythme circadien de la température chez l'homme

H. MAROTTE *, J. TIMBAL *

(Brétigny-sur-Orge)

Connu depuis très longtemps, le rythme circadien de la température a fait chez l'homme l'objet de nombreuses descriptions. Cependant la grande variété des conditions expérimentales rend difficile la détermination exacte des mécanismes mis en cause. C'est la raison pour laquelle le présent travail dont nous retraçons aujourd'hui les grandes lignes s'est proposé à travers deux séries expérimentales de tenter de préciser certains des mécanismes physiologiques pouvant expliquer la rythmicité circadienne de l'organisme, à la neutralité thermique et au cours de stimulations par la chaleur ou par le froid.

METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

Les expériences sont effectuées dans le caisson climatique du Laboratoire selon la technique de Colin et Houdas [2]. Il s'agit d'une chambre de calorimétrie fractionnelle dans laquelle il est possible de faire varier séparément quatre paramètres d'ambiance : la température des parois, la température de l'air, l'hygrométrie et la vitesse du vent. Peuvent être enregistrés de façon permanente la température rectale (T_{re}), la température cutanée moyenne (\bar{T}_s), la consommation d'oxygène et le débit évaporatoire.

Deux séries expérimentales ont été effectuées :

— dans la première série, comprenant 7 sujets, chaque sujet reste 24 heures dans le caisson climatique, nu, à la diète hydrique et alimentaire. La température du caisson, ajustée pour la neutralité thermique au début de l'expérience, restera ensuite constante pour le restant de l'expérience ;

— dans la deuxième série d'expériences, comprenant 8 sujets, chaque sujet est testé 8 fois à une semaine d'intervalle, en 8 points équidistants dans le nyctémère. Au cours de chacune de ces expériences, le sujet reste pendant 90 minutes à la neutralité thermique, puis est l'objet d'une stimulation thermique, soit par la chaleur sous forme d'une élévation de la température en échelon carré à 40 °C, soit par le froid sous forme d'un abaissement en 45 minutes de la température ambiante à 20 °C. Le délai de la réponse de l'organisme à la stimulation thermique est évalué, ainsi que les températures et le bilan thermique au moment du déclenchement de la réponse et en fin d'expérience.

Un point méthodologique important est la mise au point de procédures de traitement statistique adaptées aux expériences effectuées. La méthode choisie repose sur l'analyse de variance telle qu'elle a été décrite par Scheffe [5], et adaptée aux fonctions périodiques complexes représentées par une série harmonique limitée [1]. L'analyse des données repose donc sur la détermination des paramètres de la fonction périodique, obtenue par régression, l'analyse de variance et enfin le calcul des intervalles de confiance des extremums de la fonction [4]. Cette méthode statistique est particulièrement adaptée au traitement des rythmes de forme complexe, non nécessairement sinusoïdaux.

RESULTATS

Température rectale

Dans les deux séries expérimentales, la température au repos, à la neutralité thermique ou dans des conditions proches de la neutralité thermique, est décrite par une courbe asymétrique, comprenant un plateau pouvant être considéré comme le maximum. Le minimum nocturne est décrit vers 2 h 30 le matin, pour une température rectale égale à 36.43 °C. Par contre le maximum, correspondant à une température de 36.80 à 36.90 °C, se situe dans une large partie du nyctémère dont l'intervalle de confiance peut être estimé entre 9 h et 21 h. Le rythme circadien de la température rectale dans ces conditions expérimentales est donc décrit par une courbe asymétrique, obtenue mathématiquement par les deux premières harmoniques d'une série de Fourier. Il est également possible de remarquer que le rythme est très sensiblement identique quel que soit le protocole expérimental employé, expérience continue de 24 h ou expériences étagées dans le nyctémère (fig. 1).

Température cutanée (fig. 2)

En contraste avec l'observation précédente, la température cutanée moyenne n'évolue pas de façon similaire dans l'une ou l'autre série d'expériences. Dans les expériences de 24 h en continu, la température du caisson étant maintenue à une valeur stable, la \bar{T}_s est l'objet d'un rythme circadien significatif. Le maximum en est bien identifié et survient vers 22 h, pour une température de 34.16 °C. Le minimum, par contre, est observé vers 6 h mais son intervalle de confiance recouvre en fait une grande partie de la période diurne ; la température correspondante est égale à 33.88 °C.

* Laboratoire de Médecine Aéronautique, Centre d'Essais en Vol, 91220 BRÉTIGNY-AIR (France).

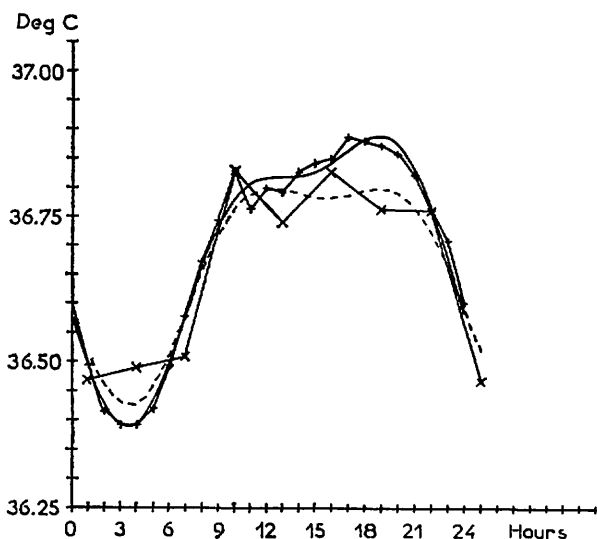


Fig. 1. — Température rectale :
 + — au cours de 8 expériences discontinues
 - - - - - modèle mathématique correspondant
 x — au cours des expériences de 24 heures
 ——— modèle mathématique correspondant.

Dans la deuxième série expérimentale, réalisée à la neutralité thermique en tous points du nyctémère, il n'apparaît évidemment pas de rythme de la température cutanée moyenne puisque c'est précisément son maintien à une valeur constante qui a suivi de critère au réglage de la température du caisson.

Métabolisme et Conductance thermique du corps

Les deux séries expérimentales réalisées n'ont pas permis la mise en évidence d'une rythmicité de la dépense métabolique ou du quotient respiratoire. Il apparaît par contre un rythme significatif de la conductance thermique du corps, décrit par une sinusoïde.

Réponses physiologiques à la chaleur (fig. 3)

Les réponses physiologiques à la chaleur sont exposées selon un modèle précédemment décrit [6], faisant intervenir le délai de déclenchement de la sudation, une constante exponentielle ayant la dimension d'un temps et qui décrit la cinétique d'établissement de la sudation, et la valeur du débit sudoral lorsque celui-ci peut être considéré comme stable. Le délai de déclenchement de la sudation est fortement dépendant de l'heure dans le nyctémère. Le rythme circadien en est très significatif, avec valeur minimale au cours de la nuit (vers 3 h) et valeur maximale vers 12 h. Dans ces conditions, le rythme du stockage thermique avant déclenchement sudoral, celui de la variation de la température moyenne du corps, celui de la \bar{T}_s et celui de la température du corps elle-même sont très significatifs.

Par contre, les expériences n'ont pas permis de démontrer l'existence de rythmes ni de la constante exponentielle de temps ni de celui du débit sudoral à l'état stable de la sudation.

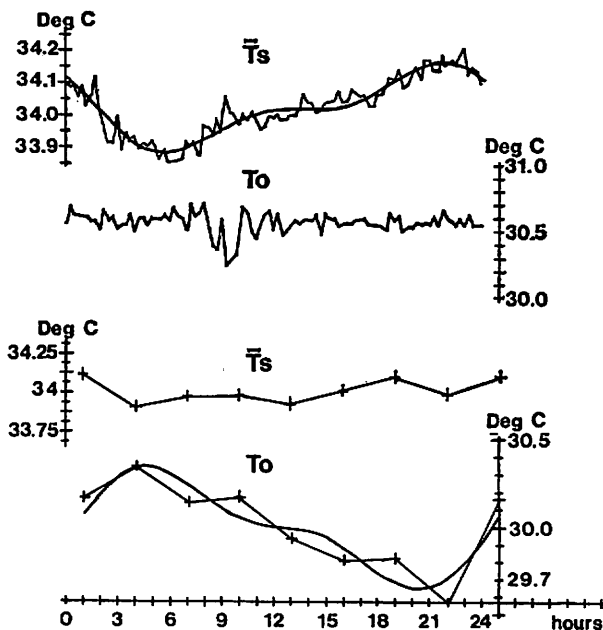


Fig. 2. — Température cutanée moyenne, comparée à la température ambiante : partie supérieure : expériences de 24 heures (température ambiante stable, la température cutanée moyenne fluctue), partie inférieure : 8 expériences réparties dans le nyctémère (pour que la température cutanée moyenne garde la même valeur, la température ambiante nécessaire doit varier).

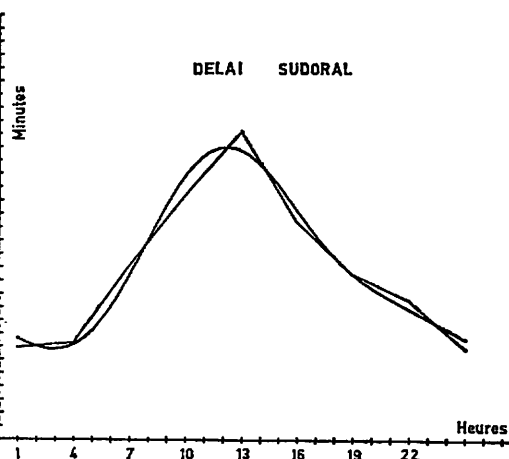


Fig. 3. — Délai de déclenchement sudoral : ligne brisée : valeurs expérimentales ; ligne continue : modèle mathématique.

Réponses physiologiques au froid

Les résultats observés au cours de l'exposition au froid sont très différents des précédents. Il n'y est pas possible de montrer de sythme circadien du déclenchement du frisson, ni de la variation de la dette thermique à ce moment, ni des températures cutanées ou de la température moyenne du corps. Il existe cependant un rythme de la variation de la température rectale ainsi que, en fin d'expérience, un rythme de la réponse métabolique. Ces deux rythmes sont décrits avec un maximum dans l'après-midi et avec un mi-

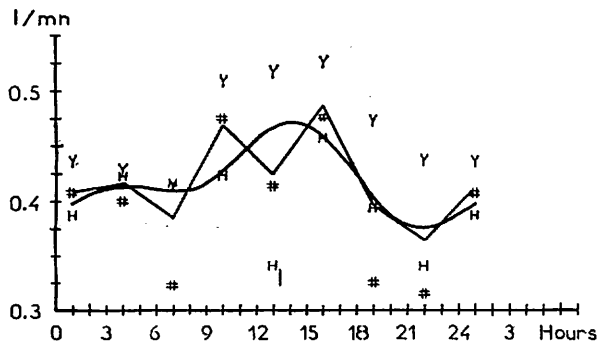


Fig. 4. — Consommation d'oxygène par minute au cours de l'exposition au froid : chaque symbole représente une valeur expérimentale. En ligne brisée : valeurs expérimentales moyennes, en ligne continue : modèle mathématique.

nimum nocturne, dont statistiquement l'intervalle de confiance recouvre une partie de la période vespérale et nocturne. Il s'agit donc là encore de rythmes très asymétriques (fig. 4).

DISCUSSION

Le caractère asymétrique, non purement sinusoïdale, des rythmes thermiques a pu être démontré. La technique statistique employée a permis l'estimation objective de la notion de plateau thermique au cours d'une partie du nyctémère.

Ces expériences permettent aussi de discuter certaines des causes du rythme thermique de l'organisme : la digestion ne semble pas devoir intervenir dans ces expériences puisque l'une des séries expérimentales impliquait la diète. Il n'est pas isolé de rythme significatif de la production métabolique mais les conditions de l'expérience peuvent expliquer ce fait. A l'inverse, pour expliquer le rythme de la température centrale, estimée par la température rectale, les rythmes de la température cutanée et ceux de la conductance thermique du corps montrent que l'organisme ajuste sa perte métabolique de façon rythmique au cours du nyctémère. Au repos et à la neutralité thermique, il semble que les ajustements circulatoires soient suffisants pour expliquer ce fait.

Au cours de l'exposition à la chaleur, il est habituellement admis que l'état vaso-moteur est impliqué dans le déclenchement de la sudation et l'on peut considérer que le délai sudoral pourrait être un reflet de l'état vaso-moteur à un moment donné, sans exclure bien sûr la possibilité d'autres mécanismes. Ceci est vrai pour le déclenchement sudoral, mais la cinétique de la sudation, une fois déclenchée, ainsi que son débit à l'état stable, ne sont pas l'objet de variations cycliques décelables.

Durant l'exposition au froid, les résultats sont plus complexes, avec une forte dispersion statistique des résultats. Il n'a pas été possible de montrer de rythme circadien du délai d'apparition du frisson mais les variations de la température rectale au même moment sont l'objet d'un rythme significatif : or il est connu que les variations de température rectale au cours de l'exposition au froid sont sous la dépendance d'ajustements circulatoires. Le rythme de la réponse métabolique obéirait à un déterminisme du même ordre.

Pour expliquer ces résultats, il est possible de rappeler que le rythme circadien des hormones adrénérgiques est connu [3]. Ces expériences pourraient suggérer que les réponses thermorégulatrices de l'organisme sont l'objet d'un rythme qui permet, au cours de la contrainte thermique de prolonger le rythme observé au repos et à la neutralité thermique. Malheureusement, la dispersion des résultats expérimentaux, qui est parfois supérieure au rythme à mesurer, ne permet pas encore de vérifier toutes les hypothèses. Quoiqu'il en soit et malgré l'imperfection encore trop grande des études actuelles, l'observation des rythmes thermiques est actuellement un bon exemple de l'adaptation de l'organisme à son environnement et aux variations thermiques rythmiques de cet environnement.

DISCUSSION AU COURS DE LA SEANCE

M. Stupfel :

Quelle relation peut-on établir chez l'homme, entre le rythme circadien de la température interne et celui de la consommation d'oxygène d'une part, et entre le rythme circadien de cette température interne et celui de l'activité (alternance activité-repos) ? La deuxième partie de cette question fait référence aux résultats publiés par Wever.

M. Boutelier :

Le déphasage de la température centrale observé par Wever est limité dans le temps puisque les expériences de cet auteur ont duré 46 jours. L'expérience sur Maireret (6 mois sous terre) a montré que le rythme de la température rectale après une période de désynchronisation (29 h) revenait progressivement sur un rythme de 24 heures. Par contre le rythme d'estimation des 24 heures est passé progressivement à 36 heures puis 48 heures et même en fin de séjour à 72 heures. Le rythme de la température rectale paraît donc être un rythme fondamental qui peut, certes, être perturbé mais dans une certaine mesure seulement (qui correspond à la désynchronisation observée par Wever) et probablement de façon permanente.

Dr. Pajault :

Il est très intéressant de voir la méthodologie moderne objectiver et prouver scientifiquement une notion vieille comme le monde : « le rythme, base de la vie ».

Un ouvrage datant de 1947, « Le rythme et la vie » montre l'alternance des rythmes du sympathique et du para-sympathique. Le sympathique prédominant le jour et renforçant défenses et activités de l'organisme, le para-sympathique prédominant la nuit, surtout la deuxième partie de la nuit, où l'organisme se « recharge » mais est sans défense donc sujet aux accidents aigus qui presque toujours apparaissent dans la deuxième partie de la nuit.

REFERENCES

- Bliss C.I. — Periodic Regression : In « Statistics in Biology » t. II, 219-283. New York, Mac Graw-Hill, 1970.
- Collin J., Houdas Y. — Les effets physiologiques d'un choc thermique : I - Méthodes et moyens d'étude. *Rev. Méd. Aéronaut.*, 1965, 16, 16-19.
- Ghata J., Reinberg A., Lagoguey M., Touitou Y. — Human circadian rhythms documented in may-june from three groups of young healthy males living respectively in Paris, Colombo and Sidney. *Chronobiologia*, 1977, 4, 181-190.
- Marotte H. — Etude des rythmes biologiques par analyse de variance : étude expérimentale du rythme circadien de la régulation thermique chez l'homme. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Lyon, 1979.
- Scheffe H. — *The Analysis of Variance*. New York, John Wiley, 1959.
- Timbal J., Collin J., Guieu J.D., Boutelier C. — A mathematical study of thermal losses by sweating in man. *J. appl. Physiol.*, 1969, 27, 726-730.

Point de vue chronobiologique pour l'étude des effets du thermalisme

M. STUPFEL *

(Le Vésinet)

La Chronobiologie ouvre une quatrième dimension à la biologie, et son domaine comprend aussi bien les rythmes des mitoses cellulaires que ceux de l'évolution. Toutefois, actuellement, elle se limite principalement à des périodes de temps qui sont à l'échelle humaine.

On a coutume de distinguer, avec Halberg, les rythmes *circadiens*¹ dont la période (τ) est voisine de 24 heures, les rythmes *infradiens* (hebdomadaires ou circaseptidiens, circamensuels, circannuels, pluriannuels) dont la période est supérieure à 24 heures, et *ultradiens* dont la période est inférieure à 24 heures.

En fait, c'est l'étude des rythmes circadiens, et en particulier la mise en évidence de la différence d'action des toxiques et des médications selon l'heure de la journée [5, 8, 9, 11], qui a le plus progressé. Cela est dû essentiellement au fait que pour connaître la périodicité d'un phénomène, il est nécessaire d'en observer 8 à 10 fois la répétition, dans des conditions strictement contrôlées et superposables. Si un tel délai est envisageable, pour l'étude de rythmes de 24 heures, il devient évidemment très long lorsqu'il s'agit de rythmes circannuels, d'autant plus que ceux-ci présentent des variations pluriannuelles. On peut néanmoins concevoir que les banques de données que l'on commence à constituer, et le traitement informatique de ces données, permettront, à l'avenir, l'étude scientifique de ces rythmes de longues périodes.

NATURE DES RYTHMES CHRONOBIOLOGIQUES

En dehors de la classification, d'après la longueur de la période, qui vient d'être envisagée, on a distingué, suivant leur origine, deux sortes de rythmes : les rythmes d'origine endogène (engendrés par eux-mêmes) et ceux d'origine exogène (engendrés par l'extérieur).

On rattache aux *rythmes endogènes* les rythmes ultradiens ($\tau < 24$ heures) qui sont ceux du plus grand nombre des fonctions physiologiques (fréquences cardiaques, respiratoire ; décharges neuronales ; péristaltisme intestinal ; cycles repos-activité² ; sommeil lent - sommeil paradoxal...). Ces rythmes ultradiens présentent une certaine variabilité de leur période, car ils sont influencés par des facteurs internes (médiateurs chimiques, hormones, autres rythmes ultradiens...) et des facteurs externes (température, lumière, substances chimiques...), mais ces variations restent comprises entre certaines limites. De plus, pour une même fonction, ils diffèrent d'une espèce à l'autre selon des lois allométriques, et, à l'intérieur d'une même espèce, ils sont propres à chaque individu. Ces variations intraspécifiques et interindividuelles

font penser à un déterminisme génétique. Mais on ne connaît pas exactement quel est leur « primum movens », et on a émis l'hypothèse d'oscillateurs (ou d'horloges internes) plus ou moins asservis entre eux.

En plus de ces rythmes ultradiens, les fonctions physiologiques présentent des *rythmes exogènes* qui coïncident avec les rythmes de *synchroniseurs* (que les Allemands appellent *Zeitgeber*, c'est-à-dire donneurs de temps) qui sont des fonctions temporelles de notre environnement. Plus précisément, des synchroniseurs physiques tels la lumière, la température, l'hygrométrie, la gravité, le magnétisme, ont les périodicités du soleil et de la lune, qui modulent des variations cycliques de la biosphère de notre planète. Les causes de ces synchronisations terrestres sont la rotation terrestre ($\tau = 23$ heures 56 minutes), la révolution de la lune autour de la terre (révolution sidérale : 27,32 jours ; révolution synodique : 29,53 jours), la rotation du soleil autour de son axe ($\tau = 27$ jours), la révolution de la terre autour du soleil ($\tau = 365,25$ jours) et l'activité des taches solaires (τ voisin de 11 ans). Ces synchroniseurs cosmiques, par leur action sur l'éclairement, la température, l'hygrométrie, et l'attraction à la surface de la terre, sont à l'origine des synchroniseurs sociaux de l'homme. Ceux-ci deviennent de plus en plus dominants au fur et à mesure que la civilisation se développe et nous éloigne davantage des cycles astronomiques pour aboutir à de nouvelles synchronisations d'origine humaine : jour légal de 24 heures, horaires d'été et d'hiver, semaine, décennie, année de 365 jours, vacances saisonnières. Cette rapide évolution, qui met l'homme en dehors des variations de son environnement naturel, et les récents développements de l'astronomie, qui montrent que les sources d'énergie cosmique (ondes radio, rayons X, rayons gamma, particules) n'arrivent à pénétrer jusqu'à nous que sous une faible énergie, devraient supprimer les anciennes croyances qui reliaient la vie humaine à de lointaines périodicités d'un univers astral.

Mais la séparation entre rythmes endogènes et exogènes n'est pas aussi tranchée qu'on pourrait le croire. En effet, si l'on explique les rythmes circadiens et infradiens (saisonniers et éventuellement pluriannuels) par l'action d'un synchroniseur, on conçoit difficilement, qu'en l'absence d'un synchroniseur (exemple : lumière continue), le rythme circadien persiste et, d'autre part, on ne comprend pas l'origine des rythmes ultradiens. Pour combler cette lacune, Brown avait, dans les années 1960, imaginé l'intervention de synchroniseurs « subtils », c'est-à-dire des phénomènes cycliques de faible amplitude (champs électriques, champs magnétiques, radiations...) qui rythmeraient les rythmes biologiques qu'on suppose endogènes [8].

* Unité de Recherches INSERM « Mécanismes Physiopathologiques des Nuisances de l'Environnement », 44, Chemin de Ronde, 78110 LE VÉSINET.

¹ Circa, en latin, signifie environ.

² Il s'agit d'alternance des périodes de repos et d'activité que des auteurs de langue anglaise ont appelé BRAC (basic rest activity cycle).

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE DES RYTHMES BIOLOGIQUES

Il apparaît donc que les mécanismes des rythmes biologiques présentent bien des inconnues. Il peut sembler intéressant de connaître les interactions de ces différents synchroniseurs et, particulièrement, l'importance relative des synchroniseurs lumineux et sociaux qui influencent les fonctions physiologiques de l'homme.

La méthodologie sera celle propre à la recherche biomédicale, l'observation à long terme de différents paramètres, l'expérimentation et l'établissement de liaisons statistiques qui permettront une modélisation mathématique.

Eu égard aux nombreuses difficultés inhérentes, ainsi que nous l'exposerons, aux études sur l'homme dans ce domaine, nous commencerons par envisager les résultats de recherches expérimentales que nous avons réalisées sur divers petits vertébrés de laboratoire. Des souris, des rats, des cobayes, des caillies sont placés dans des chambres à une température de 20-21 °C, une hygrométrie de 50-90 p. cent, un éclairage de 100 lux, une intensité sonore de 72-76 dB, avec de la nourriture et de la boisson données à volonté. Les échanges respiratoires et l'activité sont mesurés en continu et enregistrés, pendant plusieurs jours consécutifs, à des intervalles de temps de 12 secondes. Pour apprécier l'action du synchroniseur lumineux on opère, soit en lumière alternée LD_{12:12} (lumière de 0600 à 1800, obscurité de 1800 à 0600), soit en lumière continue LL; pour estimer les effets sociaux on compare des individus séparés ou groupés, et pour étudier l'action de la synchronisation alimentaire on donne la nourriture à volonté ou seulement à certaines heures [14, 15, 16]. Les résultats obtenus montrent des différences marquées entre les espèces, en ce qui concerne les rythmes ultradiens et circadiens. Chez la souris, le groupement et l'alimentation s'avèrent comme des synchroniseurs très importants, alors que l'action de la lumière est faible. Chez le rat, les synchroniseurs sociaux, lumineux et alimentaires semblent être d'égale importance. Chez la caillie, c'est le synchroniseur lumineux qui est prépondérant. Le cobaye présente un comportement social marqué et peu dépendant de la lumière. La suppression de l'alternance lumière-obscurité, obtenue en maintenant les animaux en illumination (100 lux) continue (LL), provoque une disparition des rythmes circadiens respiratoire et d'activité, en quelques heures chez la caillie, en quelques jours chez le rat, et une atténuation de ces rythmes circadiens au bout de plusieurs semaines chez la souris; cette illumination continue a peu d'action chez le cobaye. De plus, en LL, la période circadienne n'est plus de 24 heures chez les différents animaux. Elle est supérieure à 24 heures chez ceux qui ont une activité à prépondérance nocturne (souris, rats) et inférieure à 24 heures chez ceux qui sont diurnes (caillies). Ces résultats vérifient une des lois générales, établies par Aschoff. Le retour à un éclairage circadien alterné (LD_{12:12}) rétablit les rythmes circadiens 12:12 respiratoires et d'activité, en quelques heures chez les caillies, et au bout d'un délai de plusieurs jours, beaucoup plus long chez les souris que chez les rats. Les différences observées entre ces quatre espèces, et entre des individus d'une même espèce, montrent l'importance des facteurs génétiques dans le déterminisme de ces rythmes circadiens et ultradiens.

Chez l'homme, de telles études sont difficiles à réaliser pour plusieurs raisons. Eu égard aux difficultés de recrutement de sujets pour des investigations à long terme, les recherches portent sur un effectif trop petit pour évaluer une variabilité génétique. D'autre part, il s'agit le plus sou-

vent de volontaires à une motivation très particulière : auto-expérimentateurs, records d'endurance à réaliser dans des conditions souvent pénibles. De toute façon, les séjours ne sont guère prolongés, et les 205 jours que Michel Siffre passa en 1972 sous terre font figure d'exploit isolé. Toutefois, les résultats sont forts intéressants. Lors de ces séjours prolongés souterrains, en l'absence de synchroniseurs solaires, le sujet, dépourvu de montre, acquiert un rythme circadien d'une période généralement supérieure à 24 heures et, dans certains cas, on a même noté une période de 48 heures. Ces expériences ont mieux permis de comprendre les troubles physiologiques liés aux décalages horaires consécutifs aux vols rapides à grandes distances et qui, dans les années 1960, ont été à l'origine de l'essor des recherches chronobiologiques. Des études plus scientifiques ont été réalisées par Aschoff et Wever chez des sujets enfermés dans un laboratoire souterrain. Elles ont montré qu'en l'absence des synchroniseurs habituels (alternance régulière de lumière et d'obscurité, régularité de repas), et dans des conditions confortables d'ambiance, les sujets se désynchronisent rapidement, mais, phénomène inattendu et qui varie d'ailleurs avec les individus, on observe dans de nombreux cas une rupture entre la périodicité de l'alternance activité-repos et la périodicité circadienne de la température interne (fig. 1) [17]. Ceci évidemment est en faveur de la théorie de deux oscillateurs internes distincts, l'un pour l'activité, et l'autre pour la température interne.

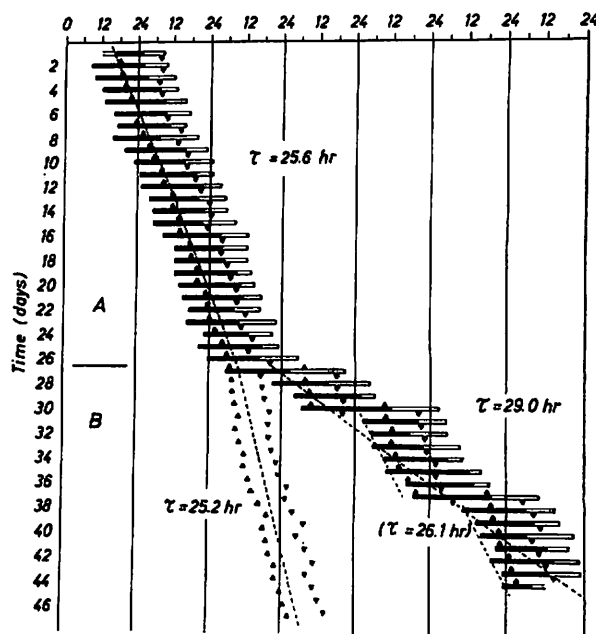


Fig. 1. — Rythmes circadiens d'activité (partie noire de la barre) et de repos (partie blanche de la barre) et de la température rectale (les triangles à pointe vers le haut indiquant le maximum de la température et ceux à pointe vers le bas correspondant au minimum de température), d'un homme de 26 ans vivant, sous terre, sans repères de temps. En abscisses sont les heures de la journée, en ordonnées le nombre de jours pendant lesquels le sujet est soumis à l'expérience. Cette dernière est divisée arbitrairement en deux sections, la section A pendant laquelle les rythmes circadiens de la température rectale et ceux d'activité-repos ont la même période ($\tau = 25,6$ heures), et la section B où l'on assiste à une dissociation des deux périodes (activité-repos $\tau = 29,0$ heures; température $\tau = 25,2$ heures). La période entre parenthèses ($\tau = 26,1$ heures) correspond à une section intermédiaire (d'après Wever R.A., [18]).

Une modélisation mathématique est le but des recherches actuelles. Mais après le recueil de données qui s'avère très difficile, eu égard à ce que l'on n'est pas sûr du nombre des synchroniseurs et des rythmes endogènes qui interviennent dans la modulation temporelle d'une fonction physiologique déterminée, on se heurte à la difficulté du traitement mathématique des variations temporelles. Celles-ci sont éminemment complexes : cycles ultradiens, circadiens, circannuels, pluri-annuels et bruits de fond. Pour appréhender ce grand nombre de variations périodiques, et leurs harmoniques, il convient d'avoir des prélèvements de données dans des intervalles de temps suffisamment rapprochés et pendant une durée totale de temps suffisamment longue. Ceci incite, nous l'avons déjà vu, à se limiter, dans la pratique, à des périodes voisines de 24 heures. Différentes méthodes d'analyse existent actuellement (séries de Fourier, autocorrélations, analyse spectrale...). Toutes présentent leur spécificité et leurs limites. Mais l'on doit espérer que, dans l'avenir, les méthodes informatiques faciliteront la résolution de ces problèmes et permettront d'avoir sur un terminal d'ordinateur le point des résultats, au fur et à mesure de l'entrée des données.

ASPECTS CHRONOBIOLOGIQUES DE LA CURE THERMALE

Si l'on se rapporte aux considérations précédentes, on peut se demander s'il ne conviendrait pas de considérer que les 21 jours de la cure thermale, provoquent une coupure de l'individu d'avec son (ou plutôt ses) rythme « habituel » de vie. Mais, contrairement à ce qui se passe généralement, lors de quelques semaines de vacances, les horaires fixes de la cure, seront renforcés par les pratiques de la crénothérapie. Ceci, certes, est à ajouter au microclimat, au changement d'environnement social et, bien sûr, s'il s'agit d'une cure « idéale », à l'absence de pollution atmosphérique, de bruits et de « stress » psychique. Il en résultera un temps d'adaptation, comme on l'appelle d'habitude, ou un temps de désynchronisation-resynchronisation comme le dénommeront les chronobiologistes. Ce temps variera selon les rythmes endogènes circadiens et ultradiens propres à chaque sujet. Les ruptures de synchronisations activité-repos et température interne observées par Wever chez certains individus, ainsi que les facteurs génétiques mis en évidence par les expériences que nous avons rapportées, font insister sur la variabilité interindividuelle. Des modifications chronobiologiques analogues se produiront lorsqu'à l'issue de la cure le sujet se retrouvera replongé dans sa vie quotidienne.

Si ces réflexions ne sont que des hypothèses chronobiologiques sur la nature de la « crise » thermale, l'on peut supposer que la détermination de l'heure à laquelle le curiste devra boire son eau, prendre sa douche, ou faire son inhalation, sera un terrain de choix pour l'action des chronobiologistes. En effet, on a décrit chez l'homme de nombreux rythmes circadiens, circulatoires, respiratoires, thermorégulateurs, de veille-sommeil, endocriniens, électrolytiques et comportementaux¹. De ce fait, le médecin d'une station éprouvera quelque embarras, s'il est conscient de la complexité du problème, d'autant plus qu'il manquera de temps pour déterminer la période et l'amplitude des variations chronobiologiques physiologiques particulières à son patient. De plus, le praticien doit-il instituer son traitement en phase

ou en opposition de phase avec celle de la fonction (circulatoire, respiratoire, endocrinienne...) qu'il veut traiter ? Donnons un exemple concret. Diverses études ont montré que l'organisme humain est plus sensible aux stimuli froids durant la phase circadienne de réchauffement et plus sensible aux stimuli chauds pendant la phase de refroidissement. Toutefois, le Professeur Hildebrandt de Marbourg, qui a très étudié l'application de la chronobiologie au thermalisme [6], estime que la sensibilité maximale aux stimuli caloriques (chaleur et froid) ne survient pas lors du maximum ni du minimum de la température interne, mais au milieu de ces deux extrêmes, c'est-à-dire au moment où la température corporelle varie le plus.

Un autre aspect à considérer est celui des rythmes infra-annuels. L'action des cures suit-elle une variation circannuelle ? Oui si l'on considère la figure 2 empruntée par Hildebrandt

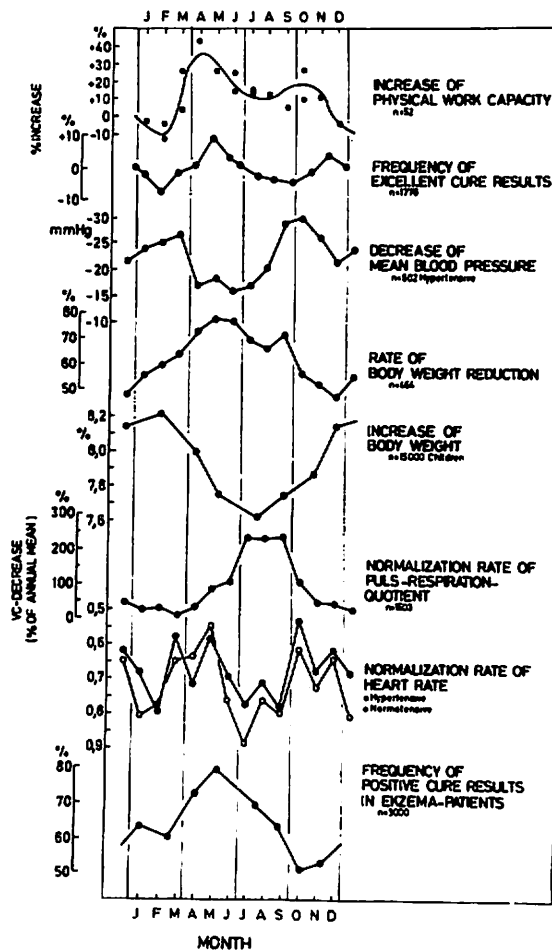


Fig. 2. — Variations annuelles des effets de diverses cures thermales en Allemagne. En abscisses sont écrites les premières lettres des mois de l'année. En ordonnées figurent des pourcentages d'augmentation (increase) ou de diminution (decrease). Les légendes à droite de la figure sont respectivement, de haut en bas : augmentation de la capacité de travail, fréquence d'excellents résultats de cures de thalassothérapie, diminution de la pression artérielle durant un traitement thermal, taux de réduction de poids chez des obèses, augmentation de poids d'enfants pendant une cure marine, normalisation du rapport poids-fréquence respiratoire, normalisation de la fréquence cardiaque chez des sujets hypertendus et normalisation des résultats favorables chez des eczémateux ; n indique le nombre de cas (d'après Hildebrandt G. [6]).

¹ Une bibliographie de ces données étant trop longue, le lecteur trouvera seulement quelques références générales en fin de cet article.

à des effets thérapeutiques de diverses cures thermales, marines ou de bains carbogazeux, pratiquées en Allemagne. Si certains de ces résultats peuvent paraître quelque peu spécifiques, l'existence de rythmes saisonniers physiologiques ne fait pas de doute. Certes, ils sont très marqués chez l'animal (citons par exemple les rythmes saisonniers de reproduction des mammifères et des oiseaux), qui vit en étroit contact avec son écosystème. Ils persistent chez l'homme moderne, bien qu'il se soustraie de plus en plus aux variations météorologiques saisonnières. Les rythmes circannuels de la morbidité et de la mortalité humaine subsistent quoiqu'ils aillent en s'atténuant pour certaines affections [2]. En fait, des rythmes saisonniers d'origine sociale se créent de plus en plus : vacances, fécondité (naissance à la carte par la pilule) et accidents d'automobiles. Mais tout n'est pas éclairci en ce qui concerne la part qui revient aux phénomènes météorologiques et celle qui résulte d'un éventuel rythme circannuel endogène [3, 4]. La solution est peut-être avant tout une question de patience, eu égard à ce que nous exprimons au début de cet article, au sujet de la nécessité d'avoir des délais suffisamment longs d'observation et un traitement informatique approprié des données.

En conclusion, l'on peut penser qu'une approche chronobiologique permettra de mieux évaluer les effets thérapeutiques des cures thermales, en précisant leurs actions sur l'amplitude des variations circadiennes et ultradiennes des fonctions physiologiques d'un individu. De plus, on peut espérer que l'utilisation de ce que l'on sait de ces variations temporelles, améliorera les résultats. Toutefois, en attendant qu'on ait un recueil suffisant de données chronobiologiques précises, beaucoup d'inconnues subsistent et l'on doit rester prudents avant d'adopter une chronothérapie systématique. Comme très souvent, la progression des connaissances montre la complexité croissante des phénomènes étudiés. Il convient au médecin thermal d'adapter sa discipline à la chronobiologie en s'efforçant de tenir compte de la dimension temporelle, quand il fait ses observations et quand il institue un traitement. Ceci permettra sûrement au thermalisme, qui est une pratique liée à l'environnement, de mieux connaître ses possibilités.

DISCUSSION AU COURS DE LA SEANCE

J. Thomas :

Avec le Professeur Poitou nous avons trouvé que, pour l'élimination urinaire de l'acide oxalique, il y a également un rythme circadien.

La réaction de l'organisme à l'action diurétique d'une eau minérale est sûrement variable au cours du nyctémère et l'expérience prouve qu'à priori cette réactivité est optimale le matin au réveil.

Dr. Jean :

Je signale avoir constaté des variations circadiennes du débit de pointe chez des obstrués bronchiques pendant la cure d'Allevard.

RÉFÉRENCES

1. Aschoff J. — *Circadian clocks*. Amsterdam, North-Holland, 1965.
2. Aubenque M., Damiani P., Massé H. — Variations saisonnières et séries chronobiologiques des causes de décès en France de 1900 à 1972. *Cahiers Soc. Dém. Méd.*, 1979, 19, 17-22.
3. Besançon F., Ricome H., Pezzi-Girault D., Chaptal E. — Circonstances météorologiques des infarctus du myocarde, des accidents vasculaires cérébraux et des tentatives de suicide. *Sem. Hôp. Paris*, 1981, 57, 1609-1611.
4. Grandpierre R. — Introduction de la séance de la société française d'hydrologie et de climatologie médicale du 17 décembre 1979 consacrée à la climatologie, *Presse Therm. Climat.*, 1980, 117, 160-162.
5. Halberg F. — *Chronobiology*. *Ann. Rev. Physiol.*, 1969, 31, 675-725.
6. Hildebrandt G. — Chronobiological aspects of cure treatment. *Jap. J. A. Phys. M. Balm. Clim.*, 1980, 44, 1-37.
7. Minors D.S., Waterhouse J.M. — *Circadian rhythms and the human*. Bristol, Londres, Boston, Wright, 1981.
8. Palmer J.D. — *An introduction to biological rhythms*. New York, San Francisco, Londres, Academic Press, 1976.
9. Reinberg A., Halberg F. — Circadian pharmacology. *Ann. Rev. Pharmacol.*, 1971, 11, 455-492.
10. Sollberger A. — *Biological rhythm research*. Amsterdam, Londres, New York, Elsevier, 1965.
11. Stupfel M. — Biorhythms in toxicology and pharmacology. I. Generalities, Ultradian and Circadian Biorhythms. *Biomedicine*, 1975, 22, 18-24.
12. Stupfel M. — Biorhythms in toxicology and pharmacology. II. Infradian biorhythms and general discussion. *Biomedicine*, 1975, 22, 105-111.
13. Stupfel M. — Rhythms and air pollution. *Chronobiologia*, 1975, 2, 105-115.
14. Stupfel M., Perramon A., Mérat P., Demaria Pesce V.H., Massé H., Gourlet V. — Grouping and respiratory behavior induced in rats and quails by LD12:12 illumination. *Physiol. Behav.*, 1980, 25, 439-447.
15. Stupfel M., Demaria Pesce V.H., Gourlet V., Thierry H. — Inter-individual factors in respiratory behavior and longevity in OF₁ mice. *Physiol., Behav.*, 1981, 26, 517-524.
16. Stupfel M., Perramon A., Gourlet V., Thierry H., Lemerrière C., Davergne M., Monvoisin J.L., Da Silva J. — Light-dark and societal synchronization of respiratory and motor activities in laboratory mice, rats, guinea-pigs and quails. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1981, 70 A, 265-274.
17. Timbal J., Colin J., Boutelier C. — Circadian variations in the sweating mechanism. *J. Appl. Physiol.*, 1975, 39, 226-230.
18. Wever R.A. — *The circadian system of man. Results of experiments under temporal isolation*. New York, Heidelberg, Berlin, Springer, 1979.

Vol en avion par temps chaud Incidences physiologiques et ergonomiques des problèmes climatiques

C. BOUTELIER *

(Brétigny-sur-Orge)

Dans les débuts de l'Aéronautique, la climatisation des avions militaires n'était pas le souci majeur des constructeurs. En effet, sur de nombreux appareils, la cabine était réduite à sa plus simple expression et le pilote était soumis à une convection importante. Aussi même sous les climats chauds, à partir d'une certaine altitude la protection contre le froid devenait le problème majeur. Il n'en est pas de même sur les appareils modernes volant dans les régions chaudes du globe ou même dans nos régions tempérées en été. Malgré la climatisation, l'équipage subit une charge thermique importante aussi bien sur les hélicoptères que sur les avions à haute performance dans certaines conditions de vol. Cette contrainte thermique peut être la cause d'accidents graves comme l'ont souligné Breeze [6] dès 1961 et plus récemment Baruch [4] et Gribetz [10].

Après avoir passé en revue les diverses sources de la contrainte thermique, nous envisagerons les réactions physiologiques qu'elle entraîne et leurs conséquences au plan ergonomique.

LES SOURCES DE LA CONTRAINTE THERMIQUE

Elles sont au nombre de quatre : la radiation solaire, l'échauffement aérodynamique, le rayonnement de l'électronique de bord et la production de chaleur de l'équipage lui-même.

La radiation solaire

La grande surface des verrières et leur transparence au rayonnement solaire imposent à l'équipage une charge thermique importante localisée essentiellement au niveau de la tête et des régions supérieures du corps à l'exclusion du dos en contact avec le siège. L'importance du flux de

chaleur qui pénètre dépend de la surface de la verrière, de sa géométrie et de son orientation par rapport au soleil. Mais l'action du soleil ne se limite pas à son seul effet radiatif. L'association radiation solaire-verrière provoque de plus ce qu'il est convenu d'appeler l'effet de serre. C'est à ce dernier qu'est due en grande partie la forte élévation de la température de l'air de la cabine. Ainsi Nunneley et Coll. [14] ont relevé des températures d'air de 52 à 53 °C dans une cabine de F 15 ventilée exposée au soleil par une température extérieure de 33 °C. Cette température d'air n'était plus que de 34,5 °C lorsque l'appareil était à l'ombre dans les mêmes conditions ambiantes.

L'échauffement aérodynamique

Négligeable sur les hélicoptères, c'est un facteur important sur les avions à haute performance. Il est dû au frottement de l'air extérieur sur les parois de l'avion. Sa valeur varie avec la température extérieure et la vitesse. C'est ainsi que des températures d'impact de 85 °C ont été mesurées sur des avions de chasse volant à grande vitesse et basse altitude au dessus des régions désertiques où la température extérieure était de 37 °C. Cette élévation de la température de la « peau » de l'avion se transmet en partie à la face intérieure des parois en raison de leur faible isolation thermique. Elle contribue sinon à l'augmentation de la charge radiante subie par le pilote, du moins à l'élévation de la température de l'air de la cabine.

Le rayonnement de l'électronique de bord

Il a été évalué à 1,2 kW par Allan [1].

La production de chaleur d'origine métabolique produite par le pilote

Celle-ci varie entre 100 et 300 W selon l'activité.

A titre d'exemple, Allan [1] a évalué l'importance de ces différents flux de chaleur pour un avion volant à Mach 0,9

* Laboratoire de Médecine Aérospatiale, Centre d'essais en vol, 91220 BRETIGNY-AIR.

par une température ambiante extérieure de 35 °C. C'est ainsi que la radiation solaire a été évaluée à 2,4 kW et l'échauffement aérodynamique à 9 kW. Si l'on tient compte des deux autres sources de chaleur, c'est un total de 12,8 à 13 kW que le système de climatisation doit évacuer. Celui-ci n'est malheureusement efficace que si la température de l'air extérieur est suffisamment basse, c'est-à-dire en hiver ou dans les vols à haute altitude. Dans les autres phases du vol, phase préparatoire, roulage, décollage, vol à basse altitude, atterrissage, où la température ambiante extérieure est élevée, la climatisation s'avère insuffisante et incapable d'uniformiser la température de l'air dans la cabine. C'est ainsi que des températures d'air de près de 60 °C ont été enregistrées sur F 111 au niveau de la tête du pilote quelques minutes avant le décollage (Nunneley et Coll. [15]). De plus, pendant toutes les phases des vols, il existe un gradient thermique de 4 à 6 °C entre le plancher et la verrière et de 1 à 4 °C entre l'avant et l'arrière de la cabine.

Mais température radiante, température sèche de l'air et ventilation ne sont pas les seuls facteurs à prendre en considération pour évaluer la contrainte thermique. Il est nécessaire de tenir compte de l'humidité qui limite les possibilités d'évaporation de la sueur en particulier sous les climats chauds et humides pendant les vols à basse altitude. C'est pourquoi les auteurs anglais et américains (Allan et coll. [2], Gibson et coll. [8], Nunneley et coll. [15]) utilisent pour estimer la charge thermique l'index WBGT (*wet bulb globe temperature*) qui tient compte de la radiation, de la convection et de l'humidité.

Enfin, à cette description des contraintes de l'environnement il est nécessaire d'ajouter le facteur vestimentaire : casque avec visière, masque à oxygène, combinaison de vol et sous-vêtements anti-feu, pantalon anti-G. Ces équipements restreignent considérablement les possibilités d'évaporation de la sueur et contribuent à l'augmentation de la charge thermique.

CONSEQUENCES PHYSIOLOGIQUES ET ERGONOMIQUES

Les conditions climatiques sévères qui viennent d'être décrites entraînent une élévation rapide des températures cutanées et la mise en jeu quasi immédiate des mécanismes thermorégulateurs : vasodilatation périphérique, accélération cardiaque et sudation.

Les valeurs atteintes par les températures cutanées dépendent évidemment des conditions de vol, haute ou basse altitude, de la température de l'air de la cabine, de la température des parois, de l'efficacité de la climatisation et de la durée des vols. A titre d'exemple, Nunneley et coll. [15] ont mesuré sur des pilotes effectuant des vols à basse altitude sur F 111 au dessus des régions désertiques avec une température d'air dans la cabine de 45 °C les températures cutanées suivantes : tête 40 °C ; front 36 °C avec la visière relevée ; mollets 36 °C ; bras et cuisses 38 °C ; la température cutanée moyenne étant de 38 °C. Ces mêmes auteurs ont signalé avoir observé à plusieurs reprises des températures de tête de 42 à 43 °C au moment du décollage. Des températures aussi élevées dans cette partie du corps sont source d'un inconfort certain. D'autre part, comme le signalent Mc Caffrey et coll. [13], la température de surface de la tête joue un rôle préférentiel sur les réponses thermorégulatrices en raison de la richesse de la vascularisation du scalp et de la proximité des centres nerveux thermorégulateurs. Des valeurs élevées de cette température locale

accroissent de façon importante les réactions de lutte contre la chaleur : vasodilatation périphérique et sudation.

La vasodilatation périphérique très importante a pour conséquence de diminuer la tolérance aux accélérations + Gz d'environ 1 g (Nunneley et coll. [16]). Cela se traduit par l'apparition du voile noir à des niveaux d'accélération plus faibles. De même la tolérance aux vibrations de basses fréquences, qui sollicitent le système cardiovasculaire, est réduite. Enfin, la vasodilatation intense et rapide peut provoquer sur les personnels non acclimatés l'apparition d'une syncope de chaleur au moment où le pilote est exposé brutalement à une ambiance thermique élevée. Cet accident dont les conséquences peuvent être dramatiques, peut survenir surtout pendant la phase préparatoire du vol jusqu'au décollage.

La sudation est relativement abondante. Elle atteint pour les vols normaux environ 400 à 600 g.m⁻².h⁻¹. Cependant des débits plus élevés ont été observés dans certaines conditions de vol à basse altitude et dans les pays tropicaux où l'humidité ambiante est importante. L'efficacité de cette sudation est malheureusement très réduite par le port des équipements : casque, pantalon anti-G, et par le siège.

Cette limitation de l'évaporation de la sueur et la charge thermique importante subie par le pilote provoquent une augmentation du stockage de chaleur dans l'organisme et l'élévation progressive de la température centrale. Si le pilote n'a pas été exposé à la chaleur ou n'a pas effectué d'exercice physique intense avant le vol, la température centrale n'atteint pas une valeur considérée comme dangereuse car la durée des vols dépasse rarement 90 mm. Toutefois ce stockage de chaleur et l'élévation de la température centrale qui l'accompagne ne sont pas sans danger. En effet de nombreux auteurs ont montré que l'exposition à la chaleur dégradait rapidement les performances psychomotrices. Ainsi Grether [10], effectuant la revue des travaux antérieurs dans ce domaine, a signalé que le temps de réaction des sujets exposés à la chaleur diminuait car la vitesse de conduction nerveuse augmentait. Dans le même temps, le niveau de vigilance était réduit alors que les autres fonctions psychomotrices se maintenaient en plateau jusqu'à une température ambiante de 37 °C. Allnutt et coll. [2] ont également mis en évidence cette diminution du temps de réaction en ambiance chaude mais ont signalé que le nombre d'erreurs de détection de signaux augmentait parallèlement et que les sujets n'avaient pas conscience de cette dégradation. Nunneley et coll. [17] plus récemment, ont montré qu'à partir d'une température ambiante de 35 °C, on observait en moins de deux heures une diminution de la faculté de visualisation et de la vitesse de perception. De plus, il semblerait que l'apprentissage soit particulièrement sensible à l'élévation des conditions ambiantes. Epstein et coll. [7] ont confirmé ces résultats. Pour ces auteurs la diminution de performance dans l'accomplissement de tâches complexes serait de 17,5 p. cent en moins de 2 heures dans une ambiance de 50 °C (T air = 50 °C). Ils ajoutent que la dégradation est d'autant plus nette que la tâche à exécuter implique un niveau élevé de vigilance, de coopération et de coordination. Ces études rapportent la dégradation de performance à la température ambiante et à la durée d'exposition. Si, au plan opérationnel leurs résultats sont très utiles car ils permettent de définir les ambiances dangereuses, elles manquent de précision au plan physiologique. De ce point de vue, il est préférable de rapporter la dégradation de performance à l'état thermique du corps caractérisé par le stockage de chaleur et les températures corporelles. D'après Blockley et coll. [5] le stockage de chaleur, calculé sur la variation des tempé-

ratures corporelles, à partir duquel on observe une dégradation de performance serait de 209 kJ.m⁻². La situation deviendrait dangereuse lorsque le stockage dépasserait 334 kJ.m⁻². Ces valeurs correspondent pour un homme de 70 kg et d'1,8 m² de surface corporelle, à une augmentation de la température moyenne du corps de 1,55 °C et de 2,5 °C respectivement. Si l'on admet que la température cutanée moyenne s'élève de 5 °C environ au cours d'un vol de 90 mm dans une ambiance de 45 °C, ces stockages correspondent à une élévation de la température rectale de 0,7 °C dans le premier cas et de 1,8 °C dans le second. Ces estimations ont été vérifiées récemment par Gibson et coll. [9]. Ces auteurs ont montré que la performance à une tâche de poursuite n'était pas affectée par la chaleur lorsque les sujets conservaient une température centrale inférieure à 37,6 °C. Par contre, au dessus de cette valeur, une augmentation de la température cutanée moyenne suffisait à provoquer une dégradation de performance. Quand la température centrale atteignait 38,5 °C, la dégradation de performance à une tâche complexe telle que le pilotage simulé était de 25 à 30 p. cent.

Ainsi sous les climats chauds, la contrainte thermique subie par les équipages dans les avions et les hélicoptères malgré la climatisation, apparaît donc suffisante pour provoquer une baisse sensible de la performance psychomotrice. Celle-ci peut mettre la vie du pilote ou de l'équipage en danger car elle apparaît dans l'exécution de tâches complexes exigeant une attention soutenue comme celles effectuées au cours du décollage ou de l'atterrissage. Il faut souligner d'autre part que, dans la description des réactions physiologiques à ces ambiances thermiques élevées et de leurs conséquences ergonomiques, l'état thermique antérieur des pilotes ou des sujets ainsi que les variations circadiennes de la tolérance à la chaleur n'ont pas été prises en compte. Il est évident par exemple que la répétition des vols dans ces conditions climatiques sévères au cours d'une même journée, une activité physique intense ou une exposition prolongée à la température extérieure avant le vol, seront autant de facteurs aggravants qui favoriseront la précocité d'apparition des symptômes décrits ci-dessus. C'est pourquoi les auteurs américains recommandent, quand la température extérieure est élevée (30 à 40 °C), de limiter la fréquence et la durée des vols et de faire reposer les équipages pendant au moins 2 heures après chaque vol dans une ambiance climatisée.

En conclusion, l'environnement thermique rencontré en aéronautique sous les climats chauds peut apparaître comme un phénomène très particulier ayant peu de points communs avec les conditions climatiques rencontrées dans la vie courante. De ce fait, les réactions physiologiques qu'il provoque et leurs conséquences ergonomiques semblent fort éloignées des préoccupations habituelles de la médecine thermique et climatique. Cependant des ambiances thermiques assez comparables dues également au rayonnement solaire, au rayonnement des parois et à l'effet de serre, peuvent être observées dans les automobiles en été. Il est alors permis de supposer que ces ambiances sont à l'origine d'un cer-

tain nombre d'accidents de la route. Ceux-ci seraient dus à des ruptures d'attention ou à une diminution du niveau de vigilance du conducteur. Dans le domaine de la médecine climatique, un rapprochement peut être fait avec les expositions en solarium et avec les cures d'héliothérapie pratiquées en thalassothérapie. Il convient alors de rappeler ce que disait le Professeur Leroy [12] au sujet des précautions à prendre pour les cures d'héliothérapie : « la cure d'héliothérapie est celle qui doit être la mieux dosée et la plus progressive, sinon les insulations brutales et prolongées créent des brûlures et des états allergiques extrêmement dangereux et pernicieux... La cure de soleil doit être globale, totale et progressive. Elle doit se faire en plein air et sous l'influence du vent qui empêche l'action calorifique néfaste... Il est nécessaire de prendre la température centrale aussitôt après et le soir de la séance d'héliothérapie ». N'est-ce pas là reconnaître l'importance du rayonnement solaire, ses dangers et la nécessité d'une climatisation adaptée.

REFERENCES

1. Allan J.R. — Thermal problems in high performance Aircraft. In : AGARD (R. 642) 4th Advanced Operational Aviation Med. Course. 1976, 81-85.
2. Allan J.R., Belyavin A.J., Higenbottan C., Nunneley S.A., Stribley R.F. — Effect of cockpit temperature gradients on the validity of single point measurements. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1979, 50, 669-671.
3. Allnutt M.F., Allan J.R. — The effects of core temperature elevation and thermal sensation on performance. *Ergonomics*, 1973, 16, 189-196.
4. Baruch D. — Some medical aspects in agricultural flights relating to fatigue among agricultural pilots. *Aerosp. Med.*, 1970, 41, 447-450.
5. Blackley W.V., McCutchan J.W., Taylor C.L. — Prediction of human tolerance for heat in aircraft. A design guide. *WADC Techn. Rept.*, 53-346 mai 1954.
6. Breeze R.K. — Space vehicle environmental control requirements based on equipment and physiological criteria ASD.TR. 61-161 *Aeronautical Syst. Div. Wright Patterson AFB, Ohio, 1961*.
7. Epstein Y., Keren G., Moisseiev J., Gasko O., Yachin S. — Psychomotor deterioration during exposure to heat. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1980, 51, 607-610.
8. Gibson T.M., Cochrane L.A., Harison M.H., Rigden P.W. — Cockpit thermal stress and aircrew thermal strain during routine Jaguar operations. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1979, 50, 808-812.
9. Gibson T.M., Allan J.R., Lawson C.J., Green R.G. — Effects on performance of thermal strain encountered during high speed, low level flight. AGARD (CP 267), 1980, 6, 1-10.
10. Grether W.F. — Human performance at elevated environmental temperatures. *Aerosp. Med.*, 1973, 44, 747-755.
11. Gribetz B., Richter E.D., Krasna M., Gordon M. — Heat stress exposure of aerial spray pilots. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1980, 51, 56-60.
12. Leroy D. — Conceptions nouvelles sur la balnéothérapie et l'héliothérapie en thalassothérapie. *Presse thermique et climatique*, 1979, 2, 130-133.
13. McCaffray T.V., Geis G.S., Chung J.M., Wurster R.D. — Effect of isolated head heating and cooling on sweating in man. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1975, 46, 1353-1357.
14. Nunneley S.A., Myhre L.G. — Physiological effects of solar heat load in a fighter cockpit. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1976, 47, 969-973.
15. Nunneley S.A., James G.R. — Cockpit thermal conditions and crew skin temperatures measured in flight. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1977, 48, 44-47.
16. Nunneley S.A., Stribley R.F. — Heat and acute dehydration effects on acceleration response in man. *J. Appl. Physiol.*, 1979, 47, 197-200.
17. Nunneley S.A., Dowd P.J., Myhre L.G., Stribley R.F. — Physiological and psychological effects of head stress simulating cockpit conditions. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1978, 49, 763-767.

La réponse cardiaque à l'effort à haute altitude (4 200 m - 5 700 m) Etude réalisée lors de la première descente à skis de l'Annapurna

G. CARETTE *, L. ADENIS *, Y. HOUDAS *

(Lille)

L'étude des modifications cardiaques à l'altitude a généralement été réalisée soit dans des caissons, soit directement en montagne mais à des altitudes qui ne dépassent généralement pas celles de nos pays, c'est-à-dire inférieures à 4.000 mètres. Même en caisson d'ailleurs, cette altitude est rarement atteinte sans inhalation d'oxygène.

C'est la raison pour laquelle il nous a semblé intéressant de faire une telle étude, à l'occasion d'une expédition Française dans l'Himalaya : il s'agissait de faire la descente en ski de l'Annapurna, et cela sans inhalation d'oxygène.

Le protocole initial prévoyait d'une part l'enregistrement continu de l'électrocardiogramme d'où il était possible de tirer la fréquence cardiaque et par ailleurs d'étudier les modifications ischémiques, et d'autre part la consommation d'oxygène. En ce qui concerne ce dernier paramètre, les mesures n'ont pu être faites que de manière épisodique au début de l'expédition, car le matériel a été mis hors service par le froid intense régnant à ces altitudes.

Nous ferons donc état ici uniquement de l'électrocardiogramme.

Le matériel est constitué par un enregistreur magnétique miniature « Médilog » 4,24 (Oxford Instrument). Ce matériel présente de nombreux avantages : il est très facilement portable accroché à la ceinture puisque son poids est de l'ordre de 400 grammes tout équipé ; son encombrement est donc modeste ; sa résistance au froid est connue et il a été utilisé dans des conditions très pénibles par des températures de l'ordre de -40° ; il est d'ailleurs possible de le protéger en le portant sous les vêtements. Il comporte d'autre part 4 pistes d'enregistrement : ces enregistrements sont faits sur des cassettes du commerce et durent 24 heures pour des cassettes de type 120.

Les quatre pistes d'enregistrement ont été utilisées comme suit :

- deux dérivations électrocardiographiques bipolaires thoraciques,
- une dérivation comportant une horloge interne donnant des tops réguliers, ce qui permet à la re-lecture d'assurer de manière précise le déroulement de celle-ci,
- enfin la dernière piste a été utilisée pour donner des marques, manuellement, des anomalies, incidents, ou tout phénomène pouvant survenir au cours de l'enregistrement.

Une attention soutenue a été portée à la fixation des électrodes, de manière que celles-ci ne puissent être décollées lors des mouvements intenses que faisaient les sujets.

La lecture des tracés a été faite au retour de l'expédition sur un appareil de type « Anatec » au laboratoire de pharmacologie (Professeur Dupuis) de la Faculté de Médecine de

Lille. Cette lecture se fait en accéléré 60 fois environ la vitesse d'enregistrement. Le résultat peut être soit un histogramme des fréquences, soit directement le tracé ECG, lequel est alors dérivé sur un enregistreur électrocardiographique habituel et sorti à la vitesse de 25 mm/s. Il est en général nécessaire, cependant, de filtrer préalablement le signal qui présente généralement des artéfacts dus aux mouvements du sujet.

RESULTATS

Les données ont pu être obtenues sur 3 sujets, de 31, 37 et 46 ans respectivement. L'altitude à laquelle se sont fait ces enregistrements était de l'ordre de 4 200 à 4 900 mètres pour deux d'entre eux et jusqu'à 5 700 mètres pour le troisième. Tous les enregistrements malheureusement n'ont pas été disponibles car une avalanche a provoqué la perte d'un certain nombre de ces cassettes. Le protocole a généralement été le suivant : mise en place des électrodes juste avant le départ, ascension, descente en ski, repos.

La fréquence cardiaque est élevée déjà au repos puisque en moyenne elle avoisine 100/mn ; dès que l'activité est modérée, cette fréquence s'élève et atteint facilement 115/mn. Lors d'efforts intenses la fréquence cardiaque s'élève mais elle ne dépasse pas en moyenne 150/mn, alors que la fréquence maximale théorique des sujets est comprise entre 175 et 190. Le pic maximal enregistré est de 166. Par conséquent on pourrait penser, selon les critères habituels, que l'effort n'a jamais été sous-maximal. En fait, telle n'est pas l'explication : les sujets ont déclaré qu'ils étaient alors en effort maximal. Ce sont donc les possibilités d'accélération cardiaque qui sont diminuées. Il est d'ailleurs à noter que la fréquence cardiaque maximale est la même en descente qu'en montée ; et que par ailleurs, la fréquence maximale atteinte paraît, pour un même travail, diminuer avec l'altitude (4 200 à 5 700 mètres). La différence est de -15 /mn lorsqu'on passe de 4 200 à 5 700 m.

Il n'a pas été observé la survenue de troubles du rythme. Sur l'électrocardiogramme les ondes T ont tendance à devenir pointues et le segment ST présente un discret sous-décalage, mais celui-ci n'est horizontal que dans la moitié des cas environ.

A certains moments, les sujets ont inhalé de l'oxygène. On constate alors que cette inhalation diminue très légèrement le sous-décalage de ST, mais la fréquence reste inchangée.

On peut donc conclure que l'altitude, supérieure à 4 500 m en moyenne, provoque quelques discrètes altérations du fonctionnement cardiaque : augmentation de la fréquence de base (de l'ordre de 100 au repos), diminution des possibilités maximales, la fréquence maximale se situant aux alentours de 160 alors que la valeur théorique serait de l'ordre de 190 ; discret sous-décalage du segment ST indiquant un certain degré d'hypoxie myocardique : l'inhalation d'oxygène diminue ces modifications. En revanche, il n'existe pas d'anomalies du rythme.

* Le Professeur Adenis était le Médecin de l'Expédition, laquelle était dirigée par M. Germain.

* Laboratoire de Physiologie, Faculté de Médecine, 59045 LILLE.

Thérapeutiques adjuvantes et complémentaires de la cure climatique dans l'asthme infantile

« Pour une thérapeutique globale »

Ph. CAUCHOIS *

(Font-Romeu)

Si l'enfant asthmatique dès qu'il se trouve à l'altitude voit ses crises disparaître totalement dans 80 p. cent des cas, l'élément climat suffit-il à redonner à cet individu l'égalité des chances par rapport aux autres enfants, alors que depuis des années il n'a pas eu une vie normale, impliquant des handicaps multiples, médicaux nombreux, psychologiques, sociaux, scolaires... ?

A l'issue d'une carrière de près de 40 années vouée principalement à la Climatothérapie de l'asthme infantile, il me semble utile de jeter un regard en arrière afin d'étudier l'évolution qui serait heureuse dans ce type d'activité.

Dans les premiers temps, rares étaient les asthmatiques dans les établissements d'enfants à l'altitude ; cette thérapeutique, peu entrée dans les mœurs, ne se pratiquait que dans de rares maisons de stations exceptionnelles. Les traitements étaient réduits, se contentant de thérapeutiques symptomatiques, lors des crises ou des affections intercurrentes. Aussi le médecin se contentait-il d'une visite hebdomadaire que lui demandait les textes réglementaires. Le dossier médical se résumait à une fiche de la taille d'une enveloppe commerciale sur laquelle on notait mensuellement les poids et à laquelle on adjoignait le cas échéant le certificat du médecin d'origine qui indiquait un diagnostic sommaire. Il s'agissait en quelque sorte de colonies de vacances que régissait une ordonnance vague de novembre 1945 sur la protection maternelle et infantile. Peu après un arrêté ministériel de décembre 1947 réglementait les « conditions minima d'installation et de fonctionnement que devaient remplir les établissements recevant des enfants ». Il stipulait les activités du médecin et notait par ailleurs que les dits établissements devaient avoir l'eau courante, ... et que cette eau devait être potable !!! Il a fallu attendre un décret ministériel de 1956 pour entendre réglementer les *Maisons d'Enfants à Caractère Sanitaire*. L'arrêté ministériel de 1959 créait enfin les *Maisons d'Enfants Spécialisées* et en particulier celles recevant des « sujets atteints d'affections chroniques non tuberculeuses des voies respiratoires ». Il y avait là une réelle amélioration ; on spécifiait par exemple que le médecin devait faire une visite quotidienne. Il faut dire que le pourcentage d'asthmatique va en augmentant ; aussi exige-t-on que le médecin doive s'assurer le concours d'un pneumo-phtisiologue s'il ne possède pas lui-même de titres dans cette spécialité. Cette

formule si vague n'indique pas la fréquence de ce concours et n'imagine pas la possibilité de consultants dans d'autres disciplines. Bien sûr il doit y avoir une infirmière pour 40 lits et l'on parle d'un kinésithérapeute ; mais il n'y a même pas de veilleuse ! Bien que les améliorations soient réelles, elles demeurent bien vagues et ne permettent pas d'obtenir toujours des administrations de tutelle les financements suffisant pour mettre en place le plateau thérapeutique correspondant aux besoins.

Ces textes vieux de 25 ans ont certes eu leurs mérites, mais ils sont bien périmés. Les malades sont plus atteints, les familles acceptant plus facilement de se séparer d'enfants nécessitant des thérapeutiques spécialisées complexes, qu'elles ne peuvent pas toujours leur procurer dans les conditions socio-économiques et géographiques où elles vivent.

Ainsi une étude récente menée à Font-Romeu a montré que 85 p. cent des enfants reçus étaient des asthmatiques tous sérieux puisque 14 p. cent étaient de type II (Classification Charpin et Vialatte) c'est-à-dire présentaient au moins une crise par mois, 63 p. cent, de type III (une crise par semaine) alors que 23 p. cent ont des crises quotidiennes (type IV). La corticothérapie est fréquente 43 p. cent dont 1/3 de façon continue. Mais surtout des troubles surajoutés sont retrouvés dans la moitié des cas :

- Autres localisations allergiques : cutanées, nasales, sinusiennes, digestives, oculaires.
- Infections diverses : respiratoires (bronchiques, rhinopharyngées) ; anomalies respiratoires (bronchectasies, atelectasies) ; état dentaire déplorable dans 2/3 des cas.
- Déformations thoraciques, vertébrales et autres.
- Problèmes psychologiques multiples troubles relationnels d'où énurésie, dyslexie, etc. On doit dans cet ordre d'idées noter les difficultés d'environnement social, 2/3 des cas ; logement insalubre et insuffisant (surtout chez les immigrés), un niveau culturel bas, alors qu'autrefois on ne recevait des enfants que de milieux aisés ; des perturbations familiales dans 40 p. cent, parents séparés, enfants pris à témoin des problèmes des couples légitimes ou non ; pathologie familiale, la mère en particulier présentant fréquemment un profil psychologique anormal ; sans oublier souvent l'isolement sociologique ou géographique rendant quasi impossible des thérapeutiques suivies.
- Difficultés scolaires dues le plus souvent à un absentéisme

* 66120 FONT-ROMEU

me important qui frappe des enfants souvent intelligents : 18 p. cent a un retard scolaire d'une année, 34 p. cent de deux ans, 10 p. cent de trois ans, 4 p. cent de quatre ans et plus. Cela est nettement plus marqué que ce que l'on trouve dans une population normale.

Pour soigner correctement ces enfants et leur redonner leur chance dans la vie, il convient de leur offrir une thérapeutique globale adaptée à chaque cas et dispensée par des équipes compétentes et suffisantes en nombre.

Une étude approfondie doit combler les insuffisances antérieures fréquentes ne se contentera plus de la constatation de sibillance et d'une recherche de l'éosinophilie. L'étude complète de l'anamnèse impliquera la réception des familles, ce qui permettra de plus une connaissance psychologique de l'environnement.

L'exploration allergologique (2/3 des enfants ne l'ont pas encore eu, ou l'ont reçu que deux ou trois tests cutanés).

L'exploration fonctionnelle respiratoire avec tests pharmacodynamiques, qui n'a qu'exceptionnellement été pratiquée alors qu'il s'agit d'atteinte sévères.

Une étude hématologique poussée avec dosage des diverses immunoglobulines en particulier les IgE totales et spécifiques dont on ne fait état qu'exceptionnellement dans les dossiers d'admission.

D'autres examens comme test à la sueur, dosages des Alpha I antitrypsines, dosages hormonaux, par exemple hormones de croissance (les retards staturaux étant particulièrement fréquents qu'ils soient ou non iatrogènes).

L'étude radiologique pulmonaire (à la recherche de D.D.B., d'atélectasie possibles); osseuses (pour détecter des sinusites ou des retards de maturation osseuse), etc.

L'étude psychologique terminera ce bilan qui n'est point pour autant limitatif.

Une étude du niveau scolaire sera réservée aux enseignants mais nous est utile.

Les thérapeutiques qu'alors nous envisageons pour nos jeunes malades ne peut plus se réduire à regarder la seule action du climat quelle que soit son efficacité. En dehors du traitement classique des affections intercurrentes ou des crises occasionnelles, il faut s'adresser à tous les éléments qui constituent le profil pathologique des jeunes asthmatiques.

Le traitement de fond de l'allergie

— Traitement préventifs de la crise d'asthme (Lomudal, Fisons, Sandoz, Zaditen, Armophylline, etc.).

— Immunothérapie spécifique

— Relance immunitaire globale et non spécifique; vaccinothérapie.

— Kinésithérapie respiratoire, lors des crises et en dehors de celles-ci.

Tout cela est un complément indispensable de la Climatothérapie. Mais cela ne suffit pas car tous nos jeunes malades ou presque sont des polyhandicapés. Ainsi il faudra :

— Soins dermatologiques spécifiques, soins O.R.L. (l'asthme nasal n'est pas rare, pas plus que les sinusites allergiques ou infectieuses, les polyposes ne sont pas exceptionnelles).

— Soins dentaires; il serait anormal que des enfants séjournant une année scolaire dans une maison d'enfants spé-

cialisée puissent la quitter avec des caries non traitées ou sans avoir reçu les mêmes soins d'orthodontie que tous les enfants du même âge.

— Traitements ophtalmologiques voir même orthoptique.

— Le soutien psychologique dirigé par le neuropsychiatre est impératif dans un nombre de cas important puisque 40 p. cent de ces enfants sont issus de familles disloquées et perturbées et que l'on retrouve 10 p. cent de ces familles présentant des problèmes psychologiques.

— Les traitements orthophoniques sont indiqués dans 10 p. cent des cas, mais sont plus souvent une aide psychologique simple. Les traitements de Psychomotricité ont leurs indications.

La scolarité enfin est assurée dans les établissements le plus souvent par un contrat avec l'Education Nationale qui détache ou prend en charge les enseignants qui doivent être suffisamment nombreux, puisque quantité d'enfants présentent un retard scolaire notable. Grâce à quoi on a constaté qu'un tiers des enfants ayant à l'arrivée un retard de 2 ans et plus le rattrape en 2 ou 3 ans.

Tout cela implique des *Equipes Thérapeutiques importantes*.

Elles ne sont toutefois pas toujours suffisantes. Ainsi deux infirmières pour un établissement de 80 lits sont jugées par les administrations comme normales; or il n'est pas tenu compte dans cette appréciation des repos journaliers, hebdomadaires, des congés annuels ou des absences pour maladie. Un kinésithérapie à temps plein est parfaitement justifié si l'on pense que le premier traitement de la crise d'asthme est d'ordre kinésithérapique, et que nombre d'enfants ont besoin de rééducation individuelle respiratoire ou vertébrale, d'un contrôle de réentraînement à l'effort (la fréquence des crises induites par l'effort est une notion récente mais importante).

Nous n'insisterons pas sur toutes les autres disciplines médicales et paramédicales qui doivent intervenir et dont nous avons parlé plus haut.

Mais si l'on veut que le médecin orchestre et dirige cette thérapeutique pluridisciplinaire, si l'on veut, et c'est indispensable, qu'il ait les contacts suffisants non seulement avec tous ces collaborateurs mais aussi avec les enseignants et surtout avec les familles, si l'on pense qu'il doit correspondre avec les confrères qui lui confient leur jeunes malades, si l'on exige de lui qu'il soit au courant de l'évolution de la pédiatrie, de la pneumologie, de l'immunoallergologie en se rendant aux diverses et multiples réunions organisées dans les diverses facultés, en fréquentant les congrès et Sociétés savantes, il n'aura pas trop d'un temps plein s'il a sous sa responsabilité un établissement de 80 lits.

Tout cela implique la compréhension des Organismes de Tutelle qui doivent sentir qu'un tel travail doit se faire dans l'intérêt de ces enfants polyhandicapés que sont le plus souvent les jeunes asthmatiques.

Il faut donc accepter la conséquence fatale mais simple : un personnel supplémentaire, donc des créations d'emploi avec le financement correspondant. Bien que ce ne soit pas notre propos, c'est peut être le moment d'y penser. Les collectivités nationales ou locales et les industries privées seraient elles les seules à pouvoir proposer des emplois nouveaux? La médecine de soins serait-elle le seul secteur de l'activité nationale à ne pas avoir le droit de changer, d'autant qu'il s'agit là d'une réelle amélioration dans l'intérêt général. Serions-nous exclus de l'ÉTAT de GRACE !!!

Réflexions sur l'adaptation du sportif européen au climat tropical

R. LOUBIERE *

(Nice)

Sans évoquer l'ancienne obligation du port du « casque colonial » on peut dire que les climats subéquatoriaux jouissent d'une mauvaise réputation auprès de l'opinion publique des pays tempérés qui y associe un effort physique minimum accompagné d'une sieste prolongée. Cette opinion est sous-tendue par les conseils d'hygiène donnés par de nombreux médecins qui en restent aux notions livresques du coup de chaleur et de déshydratation.

Cependant, cette opinion a été battue en brèche depuis une vingtaine d'années à la suite des voyages devenus plus fréquents grâce aux facilités des transports aériens. Libérés de la hantise de l'insolation de nombreux voyageurs européens se sont répandus, qui dans les camps de vacances tropicaux, qui dans l'improvisation touristique dont le sommet a été atteint par les périodes transindiens à la recherche de sensations ou de philosophies nouvelles. Et le hippie hirsute, rôti et paludéen a de nouveau fait pencher la balance vers la crainte des climats chauds et humides.

Actuellement et parmi les conseils d'hygiène donnés aux partants figure en bonne place celui d'éviter tout effort physique surtout pendant la durée de l'ensoleillement.

Il nous a donc semblé intéressant de rapporter ici une expérience personnelle, fruit de l'observation et de la surveillance médicale de joueurs d'origine européenne pratiquant régulièrement sous ces climats un sport réputé dur et dangereux : le rugby.

Durant dix saisons (1971-1980), en tant que joueur puis arbitre, il nous a été donné de cotoyer hebdomadairement la plupart des pratiquants de ce sport en Côte d'Ivoire (principalement dans la capitale : Abidjan) et de suivre l'entraînement et les matchs d'équipes françaises venues concilier tourisme et sport sous les cocotiers.

LE CLIMAT

La ville d'Abidjan est située par 5° de latitude Nord et 5° de longitude Ouest, au bord du golfe de Guinée, séparée de l'Océan Atlantique par une lagune et un cordon littoral de plusieurs centaines de mètres.

A partir des relevés faits de 1953 à 1973 par l'Institut de Géographie Tropicale de l'Université d'Abidjan, les chiffres suivants peuvent être donnés :

- les températures varient dans l'année de 20 à 34 degrés centigrades,
- la pluviométrie annuelle se situe autour des 1900 millimètres avec un maximum en mai - juin - juillet : la grande saison des pluies,
- l'humidité relative moyenne est quasiment constante : 88 p. cent,
- la tension moyenne de vapeur varie de 26 à 30 millibars au cours de l'année,
- l'évaporation moyenne varie de 40 à 60 mm.

Il s'agit donc d'un climat chaud et très humide, typiquement subéquatorial caractérisé par le peu de variation des différents paramètres, exceptée la pluviométrie.

LES SPORTIFS

Une cinquantaine d'européens pratique le rugby chaque année.

Bien qu'il y ait des « piliers » permanents de ce sport, il y a un renouvellement annuel et sur la période considérée, 200 à 250 rugbymen européens ont évolué sur les terrains.

L'âge moyen se situe autour de 30 ans, mais il n'est pas rare de voir des joueurs de plus de 40 ans.

La plupart d'entre eux pratiquent souvent un sport complémentaire : tennis, planche à voile, etc...

L'activité rugbystique proprement dite consiste en matches hebdomadaires (2 fois 40 minutes) qui ont lieu le samedi entre 15 heures et 17 heures 30 selon le cas, donc pendant l'ensoleillement, les rencontres en nocturne n'étant possible que sur un seul stade, donc exceptionnelles.

Il existe un entraînement hebdomadaire, en général le mercredi de 18 heures à 20 heures donc partiellement en nocturne.

A cette latitude le coucher du soleil se situe tout au long de l'année autour de 18 h 30.

Il convient de noter que la plupart des équipes sont multiraciales, que les joueurs africains sont plus jeunes et donc que l'effort requis pour les européens est relativement intense.

Quant aux équipes françaises visiteuses, elles étaient constituées de joueurs plus jeunes participant aux compétitions nationales et donc bien entraînés.

Les déperditions hydriques n'ont bien sûr pas été mesu-

* Faculté de Médecine, avenue de Vallombrose, 06034 NICE.

rées, mais l'on peut dire que l'évaporation est modérée du fait du degré hygrométrique, d'où l'impression d'inconfort relatif surtout au début du séjour. La consommation moyenne d'eau à l'issue du match atteint à peine 1/2 litre par joueur (6 bouteilles d'eau minérale de 1,5 litre pour 16 à 18 joueurs), bien loin de la consommation en zone sub-sahélienne (plusieurs litres d'eau pour un effort musculaire modéré). Par contre, il est remarquable de constater que la consommation moyenne dans les équipes visiteuses atteignait 1,5 litre par joueur.

LES ACCIDENTS

Ils ont été exceptionnels. En 10 ans de pratique, mis à part les traumatismes habituels dans ce sport, on n'a relevé que deux accidents dans l'étiologie desquels le stress climatique pouvait être au départ discuté.

Le premier cas concerne un joueur de 30 ans, obèse (115 kg pour 1,80 m). Au mois d'octobre, c'est-à-dire en début de saison, après 3 mois d'inactivité sportive, ce sujet s'est effondré sans connaissance dans les 10 premières minutes de jeu, au cours d'un effort violent (course prolongée) sans prodrome apparent. Immédiatement hospitalisé, cet homme avait un pouls incomptable, une hypotension à 9/6, sans signe électrocardiographique de nécrose, sans signe apparent d'hémorragie interne. Pris en charge par le service de réanimation, son état syncopal s'est rapidement amélioré, il est resté sous surveillance pendant 4 jours avec une tachycardie lentement régressive et a cessé par la suite la pratique de tout sport. Sans que l'on puisse éliminer formellement le rôle de la chaleur dans la genèse de cette défaillance cardio-vasculaire brutale, il semble plus plausible de penser d'abord au manque d'entraînement chez un obèse.

Le deuxième cas, dramatique, concerne un joueur de 29 ans qui, dans les dernières minutes de la première mi-temps s'est plaint auprès de ses coéquipiers d'une asthénie brutale et intense accompagnée d'une douleur thoracique sourde. Pendant le repos, cette douleur a semblé s'atténuer,

mais le joueur n'a pas voulu reprendre la partie. Il a assisté à la fin du match et quelques minutes après s'est brutalement affaissé sur le banc de touche. Immédiatement évacué sur l'hôpital voisin, il y décédait dès son arrivée. L'autopsie pratiquée a montré qu'il s'agissait non d'un infarctus, mais d'une myocardite lymphocytaire diffuse vraisemblablement d'origine virale.

COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

Ainsi donc sur une période de dix ans et parmi deux cents joueurs environ, on n'a observé qu'un seul incident dans lequel peut être discuté le rôle de la chaleur. Celui-ci ne nous semble pas évident compte tenu de la morphologie du sujet, du manque d'entraînement et de la brutalité de la survenue dans le déroulement de la partie.

Le second cas est un exemple typique de décompensation au cours d'une myocardite méconnue : un cas similaire a été observé chez un footballeur africain. Cela n'a bien sûr rien à voir avec les conditions climatiques.

On peut donc dire que contrairement aux idées reçues et sous réserve d'un entraînement régulier, l'effort physique sportif est particulièrement bien supporté en zone subéquatoriale par les transplantés européens. Du moins en ce qui concerne les sports collectifs où l'effort personnel est discontinu et soutenu par l'effort de l'équipe. Il est certain qu'au cours d'une partie de rugby, il y a des moments d'effort intense : courses, poussées, placages, sauts entrecoupés de phases statiques plus ou moins longues qui permettent souvent une bonne récupération cardio-vasculaire.

Les choses sont un peu différentes dans les sports individuels, le tennis par exemple où d'assez nombreux incidents ou accidents ont été signalés en simple après 40 ans.

En conclusion, l'observation de la morbidité sportive dans un groupe de 200 européens bien entraînés ayant pratiqué régulièrement le rugby en Côte d'Ivoire permet de dire que l'adaptation à l'effort est excellente en climat tropical.

THÈSES ET MÉMOIRES D'HYDROCLIMATOLOGIE

BORDEAUX

Laboratoire de Pharmacodynamie et Hydrologie
Professeur J. Canellas

A) Thèses Médecine 1980-1981

- Bertin D.
Approche climatologique de la station thermale de Rochefort à travers ses options thérapeutiques.
Thèse médecine Bordeaux, 1980, n° 106.
- Denis J.F.
Les eaux sulfurées d'Allevard-les-Bains. Etudes pharmacologiques et possibilités thérapeutiques.
Thèse médecine Bordeaux, 1980, n° 177.
- Guérin D. épouse Sacreste
Bagnères-de-Bigorre. Sa vocation dans la crénothérapie des troubles psychosomatiques.
Thèse pour le doctorat d'état en médecine, Bordeaux, 1981, n° 113.

B) Mémoires 1979

- Lataillade C.
Dyslipoprotéïnémies et eaux sulfurées calciques, Capvern, 1979.
- Alquier Bouffard C.
Essai de rééducation à l'effort en piscine d'insuffisants respiratoires chroniques, 1979.

C) Thèses Pharmacie 1980-1981

- Peyrol A.M.
La renaissance d'une station thermale pyrénéenne oubliée : Saint-Lary - la Garet, en Haute Vallée d'Aure.
Thèse pour le doctorat d'Etat en pharmacie, Bordeaux, 1981, n° 61.
- Boulhimez A.
Considérations sur la réglementation des eaux minérales et des produits s'y rattachant. Thèse pour le doctorat d'Etat en pharmacie, Bordeaux, 1981, n° 86.

GRENOBLE

Clinique Rhumatologique et Hydrologie
Professeur G. Cabanel

A) Thèses Médecine 1981-1982

- Schreiber A.
Gynécologie thermale, Thèse Grenoble, n° 35.
- Brunat Régine
Les gastro-entérologues et la prescription thermale (à propos d'une enquête menée auprès de 104 gastro-entérologues). Thèse Grenoble, n° 16.

B) Mémoires 1981

- Dr Warin G.
« La Crénothérapie est aussi une vraie médecine... ».
Professeur François Besançon.
- Dr Berlioz F.
« Estelle » ou observation curieuse d'une névropathie, accompagnée de paralysie presque générale, guérie aux bains d'Aix-en-Savoie, par les eaux, l'électricité et le magnétisme.
- Brotel C.
La Clientèle Thermale de l'Hôpital Thermal d'Uriage en 1981. Etude portant sur 80 curistes.
- Delaborde T.
Quelques aspects du Thermalisme à Uriage. (Etude portant sur 50 curistes de L'E.T.U.)
- Gourguechon Catherine
Tension Artérielle et Thermalisme.
- Grangier Catherine
Camoins-les-Bains autrement dit « Source La Cambrette ».
- Dr Jarre M.
Les troubles du métabolisme de l'acide urique et leurs traitements. Intérêts de la cure de diurèse.
- Dr Laurent A.
La cure de diurèse et l'infection urinaire.
- Lesbros Annie
Mémoire d'Hydrologie portant sur un questionnaire présenté à 50 personnes effectuant une cure à Uriage durant l'été 1981.
- Schreiber A.
Gynécologie thermale
- Souchon J.F.
Intérêt des étuves locales d'Aix-les-Bains dans le traitement des algodystrophies.

NANCY

Service d'Hydrologie et de Climatologie thérapeutiques
Professeur M. Boulangé

A) Thèses Médecine 1980-1981

- Laurendeau N.
Action physiologique de l'eau de Vittel Grande-Source. (Etude comparative en clinique humaine.)
Th. Méd. Nancy, 1980, 72 p.

- Bernard D.
Le Centre de Triage Hydroclimatique de Nancy. Son activité de 1975 à 1980.
Th. Méd. Nancy, 1980, 62 p.
- Ricour B.
Tentative d'essai comparatif prospectif en milieu thermal (les eaux de Vittel Grande-Source et Gérémy chez l'obèse).
Th. Méd. Nancy, 1981, 259 p.
- Hirtz-Valantin F.
De la balnéothérapie à la crénothérapie.
Th. Méd. Nancy, 1981, 48 p.
- Hudelet M.
La source thermale Saint-Eloi-d'Amnéville en Moselle.
Th. Méd. Nancy, 1981, 126 p.
- B) Mémoires 1980-1981**
- Bocciarelli J.
Saint-Honoré-les-Bains.
- Delaporte M.F.
Coxarthrose et crénothérapie à Morsbronn-les-Bains.
- Durand J.
La station thermale de Paris : Enghien-les-Bains. Activité sur l'année 1980.
- Fade O.
Répartition des curistes de Bourbonne-les-Bains. A propos de 435 dossiers de la clientèle d'un omnipraticien.
- Faller B.
Intérêt de l'hydrokinésithérapie dans la maladie de Duchenne de Boulogne.
- Gavaille R.
Cure thermale et 3^e âge à Vittel.
- Hickel A.
Eau minérale naturelle et eau de source de Ribeauvillé.
- Hottier B.
Hydrokinésithérapie et rééducation fonctionnelle dans les ostéotomies de réaxation du genou selon la technique de Maquet à Morsbronn-les-Bains.
- Joubert P.
De l'effet des eaux de Bourbonne-les-Bains (Haute-Marne) sur la sphère otorhinolaryngologique.
- Lamy D.
La crénothérapie dans la colopathie post-amibienne (à propos de dix malades ayant effectué 82 cures à Plombières).
- Lecocq J.
Crenothérapie de la pelvispondylite rhumatismale à Niederbronn-les-Bains.
- Masius A.
Quelques aspects de la station de Contrexéville à l'occasion d'une étude portant sur des patients du forfait-ligne et des sportifs du stage de tennis intensif.
- Migayrou C.
Intérêt de la cure thermale à Bourbonne-les-Bains dans diverses manifestations de la cervicarthrose.
- Marchal J.L.
Rapport de stage effectué à Bains-les-Bains.
- Nicolas D.
Rapport de stage effectué à Bourbonne-les-Bains en octobre 1981.
- Roca A.
Rapport de stage effectué à l'Hôpital thermal de Bagnoles-de-l'Orne (août 1981).
- Royer M.J., Touba J.
Enquête socio-médicale sur les curistes de Vittel.
- Schwenck D.
Station thermale de Mondorf-les-Bains.
- Thomas J.
Hernies discales opérées et crénothérapie à Morsbronn-les-Bains.
- Vignes R.
La station d'Ax-les-Thermes. Etude de 15 cas.
- Villibord R.
Les eaux thermales de Santenay-en-Bourgogne. A propos de 35 observations.

PARIS

Université Pierre et Marie Curie
Professeur F. Besançon

Thèses et Mémoires 1965-1980.

- M^{me} Advenier M.
Etude du pouvoir histaminoprotecteur chez les malades en cure à Vichy.
Thèse Paris, n° 24, 43 p., imprimerie Wallon, Vichy 1965.
- Cornubert C.
Le Mont-Dore.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et de Climatologie médicales, 1967, 1 vol.
- Albrecht E.
La cure sanatoriale polyvalente.
Mémoire pour l'Attestation d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1968, 1 vol.
- Bourdier J.L.
Chirurgie biliaire et cure thermale à Vichy.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Vichy 1968, 1 vol.
- Briffod M.
Place du traitement thermal et climatique dans le schéma thérapeutique de la bronchite chronique.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1968, 1 vol.
- Chassard F.C.
Les eaux chaudes - Résultats du thermoclimatisme en gériatrie.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, 1968, 1 vol.
- Clesen J.P.
Le tuberculeux pulmonaire adulte devant la prescription climatothérapique.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1968, 1 vol.

- Covindassany A.
Le thermalisme infantile en O.R.L. en Maison d'enfants spécialisée « Clair Soleil », Luchon.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1968, 1 vol.
- Delattre A.
Hyperuricémie et cures de diurèse à propos de 100 cas de goutte traités à Evian.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Evian 1968, 1 vol.
- Lachèze J.
Le traitement thermal à Barbotan-les-Thermes.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Barbotan 1968, 1 vol.
- Rey-Cadéac F.
Les diverses actions du climat marin sur la peau.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, 1968, 1 vol.
- Vélicitat A.
Etude des variations de la spasticité des hémiplegiques sous l'influence de la crénokinésithérapie à Nérès-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1968, 1 vol.
- Chartier R.
Le thermalisme en Amélie-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Amélie-les-Bains 1969, 1 vol.
- Letailleur Y.
Mesure de la vitesse de l'évacuation gastrique.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, 1969, 1 vol.
- Potier G.
La vitesse de l'évacuation gastrique. Mesures pratiquées à l'aide de la méthode des indicateurs colorés, chez des sujets normaux ou atteints de hernie hiatale. Effets comparés de l'eau pure et d'eaux bicarbonatées sodiques.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1969, 27 p. dactyl.
- Ruhlmann L.
Une méthode nouvelle en hydrologie : la photographie de l'impact des gouttes. Application aux eaux thermales françaises.
Thèse Paris 1969, n° 123, 1 vol., 68 p. multigr.
- Bailly-Comte J.
Contribution à l'étude de la cure hydroclimatique d'Amélie-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Amélie-les-Bains 1970, 1 vol.
- Chartres C.
Nouvelles techniques thérapeutiques expérimentées à Salies-de-Béarn.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1970, 1 vol., 97 p. dactyl.
- Corenthin H.
A propos de l'Hôpital Reine Hortense d'Aix-les-Bains. Quel support scientifique peut-il apporter à la crénothérapie ?
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Aix-les-Bains 1970, 1 vol.
- Fardjad M.
Etude de l'action de l'eau thermale de Nérès sur l'hypertonie de l'hémiplegique mobilisé en piscine et ses conséquences dans la Rééducation fonctionnelle.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Nérès-les-Bains 1970, 1 vol.
- Juvigny Al.
Action des eaux radioactives de Luxueil sur la stérilité féminine.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Luxueil 1970, 1 vol.
- Letailleur M.
Mesure de la vitesse de l'évacuation gastrique effectuée par la méthode des indicateurs colorés à Vichy chez 24 malades dyspeptiques.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1970.
- Zimmermann P.
Débitmétrie alcaline à pH constant dans l'estomac humain. Nouvelle épreuve fonctionnelle mettant en œuvre les eaux de Vichy.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1970, 1 vol., 48 p. multigr.
- Danon S.
Traitement de l'acné à la station hydrominérale des Fumades.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Montpellier 1971, 1 vol.
- Delahaye P.
Techniques de rééducation au Centre de thalassothérapie. Réadaptation fonctionnelle de Granville.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, 1971, 1 vol.
- Fort G.R.
Les colopathies de fermentation chez l'adulte. Traitement à Vichy.
Thèse, 1971.
- Lagarde J.P.
Etude spirométrique après pratiques thermales isolées à Bagnères-de-Luchon.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1971, 1 vol., 94 p. dactyl.
- Monroche A.
Intérêt de la crénothérapie dans les suites éloignées des fractures du cotyle et sans luxation de la tête fémorale.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1971, 1 vol.
- Tamarelle C.
La pénétration percutanée. Etude quantitative et applications en balnéothérapie.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Clermont 1971, 1 vol.
- Wibault C.
La crénothérapie des dermatoses à La Roche-Posay, 1971, 1 vol.
- Bonnes N.
25 ans de thermalisme social à Lons-le-Saunier.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1972, 1 vol.
- Combe M.
Apport thérapeutique de la thalassothérapie dans les coxarthroses.

- Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Saint-Malo 1972, 1 vol.
- Hurter F.
Les séquelles de traumatismes de l'appareil locomoteur à Bourbonne-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Bourbonne-les-Bains 1972, 1 vol.
- Lachand O.
Expérimentation de l'eau thermale de Cransac - Source Saint-Augustin, utilisée par voie interne, en cure de boisson, dans ses effets sur la sphère digestive, et particulièrement sur la motricité intestinale à propos de 238 observations.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1972, 1 vol.
- Misson R.
Médecine thermale à Luchon.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Luchon 1972, 1 vol.
- Perrin H.
L'insufflation tubaire chez l'enfant à Alleverd-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1972, 1 vol., 44 p. dactyl.
- Sebbag L.
Rééducation de la hanche en milieu marin.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Quiberon 1972, 1 vol.
- Baud J.P.
Traitement thermal de la bronchite chronique au Mont-Dore.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Le Mont-Dore 1973, 1 vol.
- Getin P.
Traitement des lombalgies banales en milieu marin.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Roscoff 1973, 1 vol.
- Jacob D.
Les phospholipides et les structures fibrillaires de l'expectoration des bronchitiques avant et après l'inhalation d'aérosols sulfurés.
Thèse, Paris 1973, Faculté Broussais - Hôtel-Dieu, 93 p.
- Plumenail F.
La source Marie de Vittel. Ses indications actuelles.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Vittel 1973, 1 vol.
- Amara D.
Des affections du genou et leur traitement au Centre héliomarin de Collioure.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1975, 1 vol.
- Aristide R.
Hypothèses de travail concernant l'eau sulfurée calcique dans « Bains chauds du Matouba » - Etude comparative avec la station sulfurée calcique d'Enghien-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1975, 1 vol.
- Aristide R.
Des indications pédiatriques de la cure d'Enghien-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1975, 1 vol.
- Bied-Charreton X.
Effets de la kinébalnéothérapie en eau thermale à Nérilès-Bains sur la spasticité de l'hémiplégique.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1975, 1 vol. dactyl.
- El Fachouch B.
Le thermalisme social en Alsace.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1975, 1 vol., 192 p. dactyl.
- Ghaouti I.
Intérêt du résultat du traitement du syndrome entéro-urinaire à Plombières.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Plombières 1975, 1 vol.
- Lounis A.
Approche d'une étude comparative sur l'action des boues marines utilisées froides ou chaudes au Centre de Thalassothérapie de Collioure.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1975, 1 vol., 34 p. dactyl.
- Makhlof M.
Crénothérapie de la coxarthrose opérée et non opérée à Morsbronn-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1975, 1 vol., 45 p. dactyl.
- Nicolet G.
Indications de la cure de Luxeuil-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1975, 1 vol.
- Vuillemot G.
Le traitement de l'obésité à la station thermale de Brides-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Brides-les-Bains, 1975, 1 vol.
- Bal G.
Historique de l'enseignement de l'Hydrologie dans les facultés de médecine en France.
Thèse, 1976, 1 vol.
- Benammour M.
Intérêt de la rééducation respiratoire et de la cure décline chez les bronchorrhéiques en traitement à Alleverd-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 48 p. dactyl.
- Boitrelle J.
Le traitement des myopathes par la balnéothérapie chaude.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 48 p. dactyl.
- Boubakeur A.
Essai d'étude comparative entre l'action du Berthollet et des boues végéto-minérales utilisées dans le traitement des rhumatismes dégénératifs à la main à la station thermale d'Aix-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 65 p. dactyl.
- Bourgeot
Recherche d'une surcharge pondérale chez les malades traités à Bourbonne pour coxarthrose primitive. Comparaison des résultats obtenus avec ceux de sujets arthro-

- siques à l'exception de la hanche. Parallélisme avec certaines publications sur ce sujet. Place de la crénothérapie dans la coxarthrose.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, 1977, 1 vol.
- Charbit J.
Particularités socio-économiques des cures thermales dans une station de la région parisienne.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 51 p. dactyl.
- Chekkoury-Idrissi A.
Résultats de la cure thermale d'Allevard dans une collectivité d'enfants.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol.
- Diot-Ruiz M.
Une arme efficace dans la lutte contre le tabac : la crénothérapie.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, 1977, 1 vol.
- Durand J.
Etudes statistiques du traitement thermal de la coxarthrose à Bourbonne-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 148 p.
- Engelibert P.
Stage de médecine thermale - Station thermale de Rochefort-sur-Mer, Charente-Maritime.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol.
- Gasrel A.
Etude climatologique de Perros-Guirec.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol.
- Godin J.
Les effets de l'hydrothérapie de Saujon chez les malades nerveux. Recherche de critères physiologiques objectifs.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, 1977, 1 vol.
- Kurland N.
Le traitement du psoriasis à la Mer Morte (Israël).
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol.
- Lemarchand-Joly E.
Traitement des algoneurodystrophies en milieu marin.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 66 p. dactyl.
- Mesner M.
Les colopathies méta-amibiennes et la cure thermale de Plombières-les-Bains. A propos de 45 observations recueillies dans un centre thermal militaire.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Plombières, 1 vol.
- Michaud D.
Nouvelles recherches sur le péloïde thermo-marin de Rochefort-sur-Mer.
Thèse 1977, 1 vol.
- Mille J.
Action de la cure thermale de Luchon sur les rhinosinusites à répétition de l'enfant.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol.
- Orhan J.
Etude comparative entre le traitement thermal et médical des hypodermes sub-aiguës scléro-inflammatoires d'origine phlébologique.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 143 p.
- Renaut H.
La rééducation et ses résultats après ablation de la tête et du col fémoral dans les suites des arthroplasties de hanche (sur 22 cas).
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Zuydcoote 1977, 1 vol.
- Parpet M.I.
Les indications de l'hospitalisation au cours des cures thermales dans les rhumatismes et les maladies ostéo-articulaires.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 56 p. dactyl.
- Salles D.
Etude comparative des effets de 2 techniques thermales dans le traitement des arthroses à Bagnères-de-Bigorre.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Bagnères-de-Bigorre 1977, 1 vol.
- Vanhee J.L.
Thalassothérapie à Zuydcoote.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1977, 1 vol., 68 p. dactyl.
- Audet G.
Le traitement thermal des lombalgies à Vernet, avec ou sans cavitations par ultra-sons à basses fréquences dans le bain : résultats comparatifs.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Ben Abdelkafi M.
Les eaux minérales de Tunisie : Etude de trois stations Djebel Oust, Korbous, Hamman Bourguiba. Réalités et perspectives d'avenir.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Dagon C.
Réflexions sur une station thermale : Enghien-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Flament D.
Etude sur les sinusites de l'enfant à la station thermale d'Enghien-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Fournier-Laroque A.M.
Indications et résultats de la cure thermale en O.R.L. à Enghien-les-Bains chez l'adulte.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Gaborit C.
Place de la crénothérapie sulfurée (Enghien-les-Bains) dans les otites séro-muqueuses à tympan fermé de l'enfant.
- Guillard A.R.
La réaction thermale et les réactions thermales à Nérises-les-Bains.
Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.

- Lelouarn C.
A propos de 45 cas de sinusites chroniques de l'enfant traités par crénothérapie sulfurée à Enghien-les-Bains. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Michaud D.
Influence de la cure thermale de Rochefort-sur-Mer sur les algies cervico-scapulaires. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Perron Y.
Contribution à l'étude des effets de la balnéothérapie marine chaude sur la spasticité. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Polard M.
Rééducation des lombalgies chroniques en milieu thermal. A propos de 60 cas observés à Norsbronn-les-Bains. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Rey H.
Traitement des coxarthroses non opérées au Centre de thalassothérapie de Granville. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Roge G.
Méthodes modernes de crénothérapie à Vittel. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Tisseron M.
Les infiltrations de gaz thermaux dans la cure rhumatismale du Mont-Dore. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Zakraoui L.
Etude d'une station thermale tunisienne : Korbous. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1978, 1 vol.
- Marceau L.X.
Etude de l'efficacité des gaz thermaux dans la cure rhumatismale du Mont-Dore. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1979, 2 vol.
- Goutagny G.
Le traitement des insuffisants respiratoires à Vernet-les-Bains par rééducation respiratoire avec ou sans cure thermale. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1979, 3 vol.
- Audras J.B.
Bioclimatologie médicale à la station française des îles Kerguelen. Thèse, 1980, 1 vol.
- Boiteux C.
Essai d'organisation d'une lutte contre le tabagisme dans une station thermale : Allevard. Thèse, 1980, 1 vol.
- Demauge S.
La sensibilité douloureuse cutanée après la douche au jet. Comparaison avec l'analgésie acupunctureale. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1980, 1 vol.
- Dourelungne M.
De l'effet thérapeutique d'une cure thermale (dans le cadre de la station thermale de Saint-Amand-les-Eaux). Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1980, 1 vol.
- Galanth E.
Une nouvelle méthode crénotherapique : « la douche antalgique ». Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1980, 1 vol.
- Martin E.
Néris-les-Bains. La cure thermale et ses effets sur la vaso-motricité, étudiés par thermométrie cutanée dynamique. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1980, 1 vol.
- Menachaud A.
Bourbonne-les-Bains : nouveaux thermes, nouvelles perspectives. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1980, 1 vol.
- Pezzi D.
Corrélations météorologiques dans les infarctus, les accidents vasculaires cérébraux, et les tentatives de suicides recensées par le SAMU des Hauts-de-Seine, et confrontés, par l'informatique, avec les relevés météorologiques quotidiens, de 1975 à 1977, au Bourget. Thèse Paris-Broussais 1980, 1 vol., 94 p. dactyl.
- Symphorien-Parouty J.
La cure thermale de Néris-les-Bains en épidémiologie de la santé mentale chez la clientèle infanto-juvénile. Mémoire pour l'Attestation d'Etudes d'Hydrologie et Climatologie médicales, Paris 1980, 1 vol.

REPERTOIRE DES ANNONCEURS

Cauterets/Capvern-les-Bains, p. 68.

Labcatal - Oligosols, p. 76.

E.S.F. - La Prostate, p. 68.

Maison du Thermalisme/Chaîne thermale du soleil, 2^e de couverture.

La Presse Thermale et Climatique

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

Ancienne GAZETTE DES EAUX

Fondateur : Victor GARDETTE †

COMITE DE PATRONAGE

Professeur ARNOUX. — Professeur F. BESANÇON. — G. BONNET. — Doyen G. CABANEL. — Professeur CORNET. — Professeur Agrégé V. COTLENKO. — Professeur Agrégé C. DELBOY. — Professeur Y. DENARD. — Professeur P. DESGREZ. — Professeur J.-J. DUBARRY. — Professeur M. FONTAN. — Professeur GONIN. — Professeur GRANDPIERRE, Directeur du Centre d'Enseignement et de Recherches de Médecine aéronautique de Paris. — GRISOLET, 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. — Professeur Cl. LAROCHE. — Professeur J. LOUVEL. — P. MOLINÉRY. — J. PASSA. — R. SOYER, Assistant au Muséum National d'Histoire naturelle. — P.M. de TRAVERSE, Chef de Laboratoire, Hôpital Broussais.

COMITE DE REDACTION

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

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

Biologie : P. NEPVEUX. — **Veines** : J. FOLLEREAU, R. CAPODURO, M^{me} C. LARY-JULLIEN. — **Cœur** : C. AMBROSI, J. BERTHIER, A. PITON. — **Dermatologie** : P. BAILLET, P. HARDY. — **Hépatologie et Gastroentérologie** : H. DANY, M^{me} GIRAULT, J. de la TOUR. — **Gynécologie** : Y. CANEL. — **Neuro-psychiatrie** : J.-C. DUBOIS, H. FOUNAU, L. VIDART. — **Pathologie ostéo-articulaire** : F. FORESTIER, J. FRANÇON, A. LARY, R. LOUIS. — **Pédiatrie** : J. CHAREIRE, R. JEAN. — **Néphrologie et Urologie** : J. COTTET, J. FOGLIERINI, J. THOMAS. — **Voies respiratoires** : A. DEBIDOUR, R. FLURIN, J. MAUGEIS de BOURGUESDON. — **Etudes hydrologiques et thermales** : B. NINARD.

COMITE MEDICAL DES STATIONS THERMALES

M^{me} DELABROISE, G. EBRARD, G. GODLEWSKI, J. LACARIN.

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



Éditeur : EXPANSION SCIENTIFIQUE FRANÇAISE

15, rue Saint-Benoît - 75278 PARIS CEDEX 06

Tél. (1) 548.42.60 - C.C.P. 370-70 Paris

TARIFS DE L'ABONNEMENT

4 numéros par an

FRANCE : 125 F — ETRANGER : 150 F

Prix du numéro : 45 F

La Presse Thermale et Climatique

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

SOMMAIRE

CRÉNOTHÉRAPIE EN ORL

(2° partie)

| | |
|---|----|
| La place de la crénothérapie dans le traitement de l'otite chronique, par R. Charachon | 61 |
| Muqueuse pituitaire et cure thermale sulfurée. Etude expérimentale au microscope électronique, par J. Darrouzet | 69 |
| Les eaux thermales de Luchon, par J.-C. Soulé | 77 |
| Les eaux thermominérales des Pyrénées, par H. Schoeller et M. Schoeller | 81 |
| Chimie et origine du soufre dans les eaux thermominérales des Pyrénées-Orientales, par J. Boulègue | 87 |

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'HYDROLOGIE ET DE CLIMATOLOGIE MÉDICALES

Séance du 14 décembre 1981

| | |
|--|-----|
| Compte rendu, par G. Girault | 93 |
| Introduction, par R. Grandpierre | 93 |
| Les prévisions climatiques à moyen terme : objets et applications possibles, par A.C. Decouflé | 95 |
| Rythme circadien de la température chez l'homme, par H. Marotte et J. Timbal | 96 |
| Point de vue chronobiologique pour l'étude des effets du thermalisme, par M. Stupfel | 99 |
| Vol en avion par temps chaud. Incidences physiologiques et ergonomiques des problèmes climatiques, par C. Boutelier | 103 |
| La réponse cardiaque à l'effort de haute altitude (4 200 m - 5 700 m). Etude réalisée lors de la première descente à skis de l'Annapurna, par G. Carette, L. Adenis et Y. Houdas | 106 |
| Thérapeutiques adjuvantes et complémentaires de la cure climatique dans l'asthme infantile « Pour une thérapeutique globale », par Ph. Cauchois | 107 |
| Réflexions sur l'adaptation du sportif européen au climat tropical, par R. Loubière | 109 |

| | |
|--|-----|
| Thèses et mémoires d'Hydroclimatologie | 111 |
| Informations | 80 |