Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 97 (1974)

Artikel: Recherche de bactéries sulfoxydantes, nitrifiantes et saprophytes dans une lésion de la Pierre Jaune d'un bâtiment ancien, à Neuchâtel

Autor: Aragno, Michel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-89058

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INSTITUT DE BOTANIQUE, UNIVERSITÉ DE NEUCHATEL

LABORATOIRE DE CRYPTOGAMIE ET MICROBIOLOGIE

RECHERCHE DE BACTÉRIES SULFOXYDANTES, NITRIFIANTES ET SAPROPHYTES DANS UNE LÉSION DE LA PIERRE JAUNE D'UN BÂTIMENT ANCIEN, A NEUCHÂTEL

(NOTE PRÉLIMINAIRE)

par

MICHEL ARAGNO

AVEC 1 PLANCHE ET 1 TABLEAU

Introduction

On a souvent attribué à l'action de bactéries les altérations des pierres de construction. Dans un remarquable travail, le plus souvent ignoré des auteurs plus récents, Paine et *al.* (1933) posent clairement ce problème. Ils envisagent l'action des bactéries saprophytes, susceptibles de produire des acides organiques lors de fermentations, celle des bactéries nitrifiantes, oxydant l'ammoniaque de l'air en acide nitreux, puis nitrique, et celle des bactéries sulfoxydantes, oxydant des composés minéraux réduits du soufre en acide sulfurique. Si les nombreuses lésions de la pierre étudiées par ces auteurs sont toujours très riches en germes saprophytes, il est rare d'y rencontrer des germes nitrifiants. La présence de bactéries sulfoxydantes est, par contre, presque constante.

Pochon et son école (Pochon, J. et *al.* 1946, 1948, 1949, 1950, 1959, 1960 et 1968 ; Bourcart et *al.* 1949) attribuent un rôle prépondérant, dans certains types d'altérations, aux bactéries sulfoxydantes. Ils considèrent comme source probable du soufre réduit l'hydrogène sulfuré dégagé au niveau des fondations par la flore sulfatoréductrice, qui y est abondante. Cette substance monterait dans les façades par l'eau de capillarité, et y serait oxydée biologiquement par les Thiobacilles, avec formation d'acide sulfurique. Le calcaire serait alors transformé en gypse.

Kauffmann (1952, 1953 et 1960) et Kauffmann et Toussaint (1954) pensent au contraire que la cause unique des altérations est l'action des bactéries nitrifiantes, qui oxydent l'ammoniaque contenu dans l'air en

acide nitrique. Ils considèrent comme « mortes » les nombreuses lésions ne renfermant pas de bactéries nitrifiantes.

Dans les deux cas, des dispositifs expérimentaux ont permis à ces auteurs de reproduire *in vitro* les phénomènes auxquels ils attribuent la formation des lésions.

Jaton (1971, 1972 *a* et *b*) envisage deux types d'altérations : les alvéolisations et les desquamations. Dans les premières, les bactéries sulfoxydantes sont peu nombreuses ; elles sont généralement abondantes dans les secondes. L'auteur constate une certaine corrélation entre la teneur en sulfates et la richesse en Thiobacilles. Les bactéries chimiolithotrophes de la nitrification sont généralement peu nombreuses dans les deux types d'altérations.

Les lésions où l'action de microorganismes est la plus évidente concernent la destruction du béton par les Thiobacilles acidophiles (Parker 1947, Taylor et Hutchinson 1947), dans des conditions particulières, favorables à l'établissement d'une microflore spécifique abondante (plusieurs millions de germes par g).

La pierre jaune des monuments de la région de Neuchâtel semble particulièrement sensible à ces altérations. Le conservateur des monuments et sites de l'Etat de Neuchâtel, M. R. Vionnet, nous a signalé ce phénomène sur plusieurs bâtiments de la ville, ce dont nous le remercions vivement. Nous nous sommes intéressé à y rechercher et dénombrer certains groupes de bactéries, agents possibles de ces altérations.

Le batiment étudié et son altération

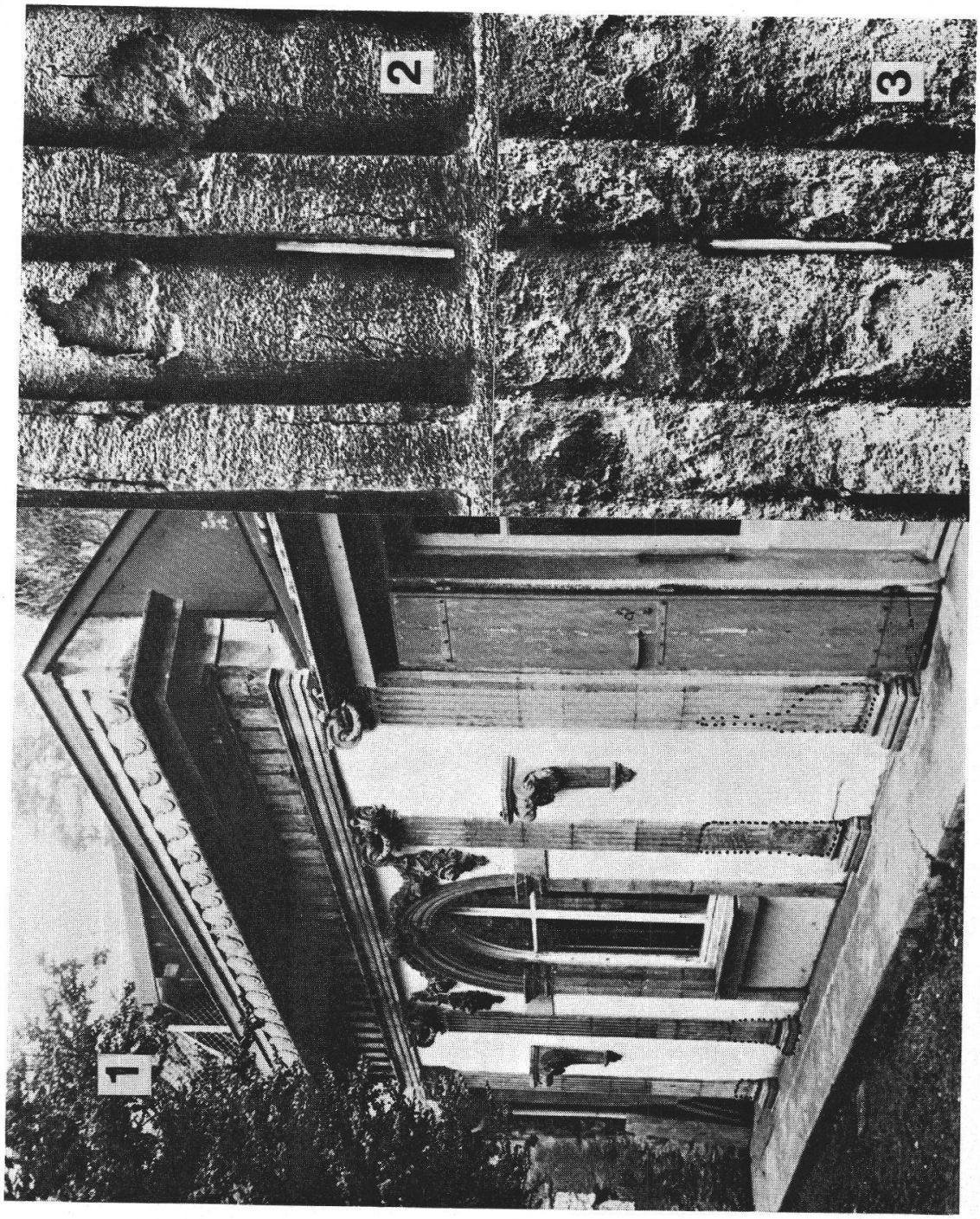
Notre choix s'est porté sur un petit pavillon, situé à l'est de l'immeuble N° 10 de l'avenue DuPeyrou, à Neuchâtel (pl. VII, photo 1). Ce pavillon se trouve éloigné des atteintes directes de la circulation routière. Il est construit en pierre calcaire jaune, biodétritique, à granulation grossière et porosité élevée (Hauterivien).

L'altération porte sur le bas des quatre piliers décoratifs de la façade sud-ouest, et se manifeste par une desquamation au niveau des cannelures (pl. VII, photo 2-3). La zone visiblement attaquée ne s'étend pas au-delà de 90 cm du sol. Le socle de ces piliers n'est presque pas attaqué.

Les échantillons de pierre malade sont prélevés entre 40 et 60 cm du sol, au niveau des desquamations et immédiatement au-dessous, sur une épaisseur d'environ 5 mm. La pierre saine témoin est prélevée sur la face nord-ouest d'une pierre d'angle, à environ 1,70 m de hauteur, l'échantillon se compose d'éclats d'une couche superficielle de 5 mm d'épaisseur environ.

Analyses bactériologiques

Les analyses portent sur les bactéries chimiolithotrophes sulfoxydantes et nitrifiantes, ainsi que sur le groupe hétérogène des « sapro-



1. Aspect extérieur du bâtiment. Les zones principales d'altération sont indiquées par un pointillé.

2 et 3. Divers degrés d'altération. Une allumette indique l'échelle.

phytes aérobies». Les bactéries des deux premiers groupes sont susceptibles de produire des acides forts pouvant provoquer une désagrégation du calcaire. Bien qu'elles puissent libérer une faible quantité d'acides organiques, nous envisagerons surtout les bactéries saprophytes en tant que témoins de la valeur de la pierre comme support de la vie bactérienne.

La numération des germes autotrophes se fait par l'inoculation de cultures d'enrichissement à partir de dilutions-suspensions de l'échantillon broyé, selon la technique utilisée en microbiologie du sol. Trois tubes de milieu sont ensemencés par dilution. Le nombre le plus probable de germes est calculé au moyen des tables statistiques de McCrady (*in* Pochon et Tardieux 1962).

Nous avons recherché les Thiobacilles au moyen de trois milieux d'enrichissement :

1. Milieu d'après Parker et Prisk, pour Thiobacilles non acidophiles (*in* Skerman 1967) ; il s'agit d'une solution minérale fortement tamponnée à pH 6,6, avec $Na_2S_2O_3$ comme donneur d'électrons.

2. Milieu d'après Parker et Prisk, pour Thiobacilles acidophiles (*in* Skerman 1967) ; ce milieu est une solution minérale de pH 4,2, avec $Na_2S_2O_3$ comme donneur d'électrons.
   Après trois semaines d'incubation à 27° C, on appréciera le développement des Thiobacilles par la consommation de thiosulfate, évaluée au moyen d'une solution iodo-iodurée. Nous considérons comme positif tout tube de culture où au moins 20% du thiosulfate initial a été consommé.

3. Milieu de Pochon et Tardieux (1962) pour Thiobacilles oxydant H_2S : solution minérale avec un excès de $CaCO_3$, mais dépourvue de sulfates. L'incubation des cultures se fait en atmosphère confinée, en présence d'une coupelle contenant quelques ml d'une solution à 10% de Na_2S. Après une incubation de trois semaines à 27° C, on recherche, au moyen de chlorure de baryum en présence d'acide chlorhydrique, les sulfates résultant de l'activité des Thiobacilles.

Nous avons recherché les bactéries nitrifiantes au moyen des deux milieux d'enrichissement de Pochon et Tardieux (1962) :

1. Milieu pour ferments nitreux : solution minérale avec excès de $CaCO_3$ et $(NH_4)_2SO_4$ comme source d'azote. Après trois semaines d'incubation à 27° C, on recherche la présence de nitrites ou de nitrates au moyen de diphénylamine sulfurique.

2. Milieu pour ferments nitriques : solution minérale avec excès de $CaCO_3$ et $NaNO_2$ comme source d'azote. Après trois semaines d'incubation à 27° C, on recherche la présence des nitrates au moyen de diphénylamine sulfurique, après avoir éliminé les nitrites restants par de l'urée.

La numération des germes saprophytes aérobies a été réalisée sur gélose nutritive (Nutrient Agar Difco) par dénombrement des colonies développées après 14 jours d'incubation à 27° C.

Les analyses ont été effectuées à deux reprises : le 22 novembre 1972 et le 27 août 1973.

Les résultats sont rassemblés au tableau I.

TABLEAU I

Résultats des analyses bactériologiques

Groupe	Milieu		Date	Nombre de germes/g	
	Donneur d'électrons	pH		Pierre altérée	Pierre saine
Thiobacilles	$S_2O_3^{-2}$	4,2	22.11.1972	1.150	0
			27.8.1973	750	4
Thiobacilles	$S_2O_3^{-2}$	6,6	22.11.1972	4.500	40
			27.8.1973	15.000	4
Thiobacilles	H_2S		22.11.1972	200	0
			27.8.1973	250	9
Germes de la nitritation	NH_4^+		22.11.1972	45	4
			27.8.1973	4	0
Germes de la nitratation	NO_2^-		22.11.1972	45	25
			27.8.1973	45	4
Saprophytes aérobies	— (gélose nutritive)		22.11.1972	3.900.000	2.500.000
			27.8.1973	4.500.000	2.200.000

Quatorze souches de Thiobacilles ont été isolées à partir des cultures d'enrichissement inoculées par des dilutions-suspensions de pierre malade : quatre sur milieu de Parker et Prisk à pH 4,2, huit sur milieu de Parker et Prisk à pH 6,6, et deux sur milieu de Pochon et Tardieux. Toutes ces souches se sont révélées autotrophes facultatives, se développant bien sur gélose nutritive. Les souches isolées sur le milieu à pH 4,2 se développent toutes bien sur le milieu à pH 6,6. Elles sont donc acidotolérantes, plutôt qu'acidophiles. Une détermination complète n'a pas encore été entreprise.

En complément à nos analyses bactériologiques, nous avons mesuré le pH, la teneur en eau et en matière organique d'échantillons de pierre saine et malade. Cette dernière a été établie par la méthode de Dabin (1967) adaptée par Michel Pochon, de l'Institut de géologie de l'Université de Neuchâtel (communication personnelle). Résultats :

	Pierre altérée	Pierre saine
pH	7,67	7,70
Teneur en eau	3,1 %	0,5 %
C organique total (mg/g)	1,1	non décelable

Discussion

Les germes de la nitrification sont très peu nombreux, aussi bien dans la pierre altérée que dans la saine, comme cela a souvent été constaté dans ce type d'altération. A moins de considérer, avec Kauffmann (1960), ces lésions comme mortes, il ne semble pas qu'elles puissent être attribuées à l'activité de tels germes.

Les bactéries sulfoxydantes sont, elles, présentes en quantités assez élevées dans la pierre attaquée, et très peu nombreuses dans la pierre saine témoin. Le rapport du nombre de germes dans la lésion au nombre de germes dans la pierre saine est beaucoup plus élevé pour le groupe des sulfoxydants que pour celui des saprophytes aérobies. Malgré sa teneur plus basse en carbone organique total et sa plus faible hydratation, la pierre saine est ici un support presque aussi bon que la pierre malade pour la vie bactérienne en général (représentée par le groupe des saprophytes aérobies). L'abondance relative d'un groupe particulier comme celui des Thiobacilles ne peut donc s'expliquer que par des conditions d'enrichissement spécifiques aux bactéries de ce groupe. Nous pensons que, dans les conditions écologiques de la pierre altérée, le facteur limitant de la vie hétérotrophe est la faible teneur en matière organique assimilable ; en présence des donneurs d'électrons adéquats, on a donc des conditions d'enrichissement pour des bactéries chimiolithotrophes. Vu la localisation basse de ces lésions, le schéma de Pochon (H_2S produit au niveau des fondations, puis parvenant au niveau de la lésion par l'eau de capillarité) semble être réalisé ici.

Le nombre de germes obtenu dans le milieu neutre au thiosulfate est bien supérieur à celui obtenu sur le milieu de Pochon et Tardieux pour bactéries oxydant H_2S. Une partie de l'hydrogène sulfuré pourrait être oxydée par voie chimique en thiosulfate, ce dernier étant alors le support principal du développement des Thiobacilles, comme cela a été démontré expérimentalement et dans les eaux de lacs méromictiques par Sorokin (1968).

Nous n'avons pas rencontré, dans nos tentatives d'isolement, de bactéries sulfoxydantes acidophiles strictes, telles *Thiobacillus thiooxydans* et *Th. concretivorus*. Ces dernières sont de violentes acidificatrices, étant susceptibles de faire tomber le pH du milieu au-dessous de 1. Elles ont été trouvées en grandes quantités dans des lésions du béton (Taylor et Hutchinson 1947). Dans le cas de la pierre calcaire, l'effet tampon du carbonate de calcium doit suffire à empêcher de façon permanente l'installation de telles bactéries. Nous constatons en effet que l'abaissement du pH dans la pierre malade est insignifiant.

En conclusion, la lésion étudiée, dans son état actuel, représente un milieu d'enrichissement pour les Thiobacilles. Le nombre de ceux-ci est toutefois bien inférieur à celui rencontré dans des altérations du béton, où l'origine microbienne de la corrosion est à peu près certaine. Dans le cas qui nous occupe, d'autres phénomènes en relation avec la remontée de l'eau par capillarité pourraient aussi être à l'origine de la lésion, indépendamment de l'apport d'hydrogène sulfuré permettant le déve-

loppement autotrophe des Thiobacilles. Il est néanmoins plausible de supposer que, même s'ils n'en sont pas la cause unique, les Thiobacilles jouent un rôle dans l'évolution de ces altérations, par la formation d'acide sulfurique, conséquence de leur métabolisme chimiolithotrophe. Dans l'état actuel de nos connaissances, il est toutefois difficile d'estimer l'importance de ce rôle.

Remerciements

Nous remercions sincèrement le professeur Terrier, qui a revu notre manuscrit et dont les conseils et les suggestions nous ont été précieux. Merci également à notre collègue J.-P. Hertzeisen, qui a collaboré à la prise des photographies.

Résumé

Les analyses bactériologiques effectuées sur la pierre altérée d'un monument ancien, à Neuchâtel, et sur une pierre saine témoin, montrent que :

1. Les bactéries nitrifiantes sont présentes en quantités minimes.
2. Les bactéries sulfoxydantes sont peu nombreuses dans la pierre saine, beaucoup plus abondantes dans la pierre altérée.
3. Les germes saprophytes aérobies sont presque aussi nombreux dans le témoin que dans la lésion.

La pierre malade présente des conditions d'enrichissement pour les bactéries sulfoxydantes. On ne peut toutefois affirmer que ces dernières sont la cause unique de l'altération.

Summary

Bacteriological analyses of decaying and sound stone from an old building, in Neuchâtel, show that :

1. Nitrifying bacteria are present in very small quantities.
2. Sulphur oxidizing bacteria are much more numerous in the decaying stone than in the sound one.
3. Heterotrophic bacteria are almost as numerous in the sound stone as in the decaying one.

The decaying stone presents enrichment conditions for sulphur oxidizing bacteria. However, it is not sure that they are the unique agents of the decay.

BIBLIOGRAPHIE

BOURCART, J., NOETZLIN, J. et POCHON, J. — (1949). Etude des détériorations des pierres des monuments historiques. *Ann. Inst. Techn. Bât.* 108 : 4-9.

DABIN, B. — (1967). Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. pédol.* 5 : 257-285.

JATON, C. — (1971). Contribution à l'étude de l'altération microbiologique des pierres de monuments en France. Thèse doct. 3e cycle spéc. sédiment. *Paris.*

— (1972*a*). Altérations microbiologiques de l'église monolithe d'Aubeterre sur Dronne. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 9 : 417-427.

— (1972*b*). Aspects microbiologiques des altérations des pierres de monuments. *Extr. 1er coll. intern. sur la détérioration des pierres en œuvre :* 149-154.

KAUFFMANN, J. — (1952). Rôle des bactéries nitrifiantes dans l'altération des pierres calcaires des monuments. *C. R. Acad. Sci.* 234 : 2395-2397.

— (1953). Rôle des bactéries dans l'altération des pierres calcaires des monuments. *Corrosion Anticorrosion* 1 : 33-41.

— (1960). Corrosion et protection des pierres calcaires des monuments. *Ibid.* 8 : 87-95.

KAUFFMANN, J. et TOUSSAINT, P. — (1954). Nouvelles expériences montrant le rôle des bactéries nitrifiantes dans l'altération des pierres calcaires des monuments. *Ibid.* 2 : 237-244.

PAINE, S. G., LINGOOD, F. V., SCHIMMER, F. et THRUPP, T. C. — (1933). The Relationship of Micro-Organisms to the Decay of Stone. *Phil. Trans., sér. B*, 222 : 97-127.

PARKER, C. D. — (1947). Species of Sulphur Bacteria Associated with the Corrosion of Concrete. *Nature* 159 : 439-440.

POCHON, J. et COPPIER, O. — (1950). Rôle des bactéries sulfatoréductrices dans l'altération biologique des pierres des monuments. *C. R. Acad. Sci.* 231 : 1584-1585.

POCHON, J. et JATON, C. — (1968). Facteurs biologiques de l'altération des pierres. *Biodétér. Matér. Microbiol. allied Aspects. Proc. 1st intern. Biodét. Symp. Southampton. Elzevier, Amsterdam* : 258-268.

POCHON, J., ROSE, A., TCHAN, Y. I. et AUGIER, J. — (1949). Formation de gypse par voie biologique, dans certaines altérations des pierres des monuments. *C. R. Acad. Sci.* 228 : 438-439.

POCHON, J. et TARDIEUX, P. — (1962). Techniques d'analyse en microbiologie du sol. 108 pp., *Ed. La Tourelle, St-Mandé.*

POCHON, J., TARDIEUX, P., LAJUDIE, J. et CHARPENTIER, M. — (1959). Intervention bactérienne dans la dégradation des temples d'Angkor (Cambodge). *C. R. Acad. Sci.* 248 : 3644-3645.

POCHON, J., TARDIEUX, P., LAJUDIE, J., CHARPENTIER, M., DELVERT, J., TRIAU, R. et BREDILLET, M. — (1960). Dégradation des temples d'Angkor et processus biologiques. *Ann. Inst. Pasteur* 98 : 457-461.

POCHON, J. et TCHAN, Y. I. — (1946). Recherches sur le rôle des microorganismes dans l'altération (dite « maladie des pierres ») des façades des monuments à Paris. *C. R. Acad. Sci.* 223 : 695-696.

— (1948). Rôle des bactéries du cycle du soufre dans l'altération des pierres des monuments. *Ibid.* 226 : 2188-2189.

SKERMAN, V. D. B. — (1967). The genera of bacteria. 303 pp., *Baltimore* (Williams & Wilkins).

SOROKIN, Y. I. — (1968). (En russe.) Les processus d'oxydation chimique et biologique du sulfure d'hydrogène dans les eaux des lacs méromictiques. *Microbiologiya* 37 : 523-532.

TAYLOR, C. B. et HUTCHINSON, G. H. — (1947). Corrosion of concrete caused by sulphur oxidizing bacteria. *J. Soc. Chem. Ind.* 66 : 54-57.