



**HAL**  
open science

# Le paysage français de la recherche sur la dégradation et la conservation de la pierre monumentale

Samuel Etienne

► **To cite this version:**

Samuel Etienne. Le paysage français de la recherche sur la dégradation et la conservation de la pierre monumentale. Bulletin de l'Association de géographes français, 2008, 1, pp.59-66. hal-00267961

**HAL Id: hal-00267961**

**<https://hal.science/hal-00267961>**

Submitted on 25 Jul 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Le paysage français de la recherche sur la dégradation et la conservation de la pierre monumentale**  
The French research landscape on deterioration and conservation of building stone

**Samuel ETIENNE**  
**Université Blaise-Pascal Clermont-Ferrand, CNRS UMR 6042 Géolab**

*Résumé.* – Cette note dresse un bilan de la recherche française sur la dégradation et la conservation de la pierre monumentale. La faible contribution de la géographie nationale est mise en avant, tranchant avec l'importance de champ de recherche dans les géographies étrangères, notamment anglo-saxonnes. La vivacité de la recherche non-géographique sur le territoire métropolitain est abordée. Enfin, le potentiel offert par le territoire métropolitain pour une géographie monumentale française est souligné.

*Mots-clés :* érosion, conservation, pierre monumentale, recherche géographique, France.

*Abstract.* – This paper draws a sketch map of the French research on weathering and conservation of building stone. The paucity of the French geography on this matter is underlined, making a strong distinction with foreign geographies, especially from English-speaking ones. Nevertheless, the activity of non-geographic research in France is at a high level. Finally we underline the strong potential of the metropolitan territory for supporting a French building stone geography.

*Key words :* erosion, conservation, building stone, geographical research, France.

Par cette introduction, nous voudrions dresser une esquisse du paysage de la recherche sur la dégradation et la conservation de la pierre monumentale en France. La bibliographie géographique amène à un constat surprenant : ce thème de recherche fait l'objet de peu de considération de la part des géographes français, alors même que nos collègues géographes étrangers occupent des places de premier choix dans les instances définissant les politiques de conservation de la pierre monumentale (voir Pope *et al.*, 2002) ; à l'échelle européenne, les activités du réseau informel SWAPNET (*Stone Weathering and Atmospheric Pollution NETwork*) en témoignent et rappellent que la géographie a beaucoup à apporter à ce domaine de recherche, en prise avec des préoccupations sociales évidentes (André *et al.*, ce volume). Passé ce constat initial quelque peu décevant pour la géographie française, il est à noter que la recherche sur la dégradation et la conservation de la pierre monumentale en France est un thème porteur, particulièrement vivace chez les physiciens des matériaux, les géologues, les géomicrobiologistes : ainsi, sur les dix-huit thèses soutenues sur ce thème depuis 1961, seize proviennent de disciplines non-géographiques... et pourtant la géographie française fut pionnière en ce domaine (tableau 1).

## **1 – Les géographes français et l'érosion de la pierre monumentale**

Seuls quelques géographes français se sont intéressés à l'érosion de la pierre monumentale. Parmi ces « géographes monumentaux » français, le premier, véritable défricheur, est Jean Delvert qui soutient le 24 juin 1961 une thèse complémentaire sur l'érosion des grès d'Angkor sous la direction de Pierre Birot. Il livre sur cent pages un remarquable travail d'inventaire, monument par monument, des formes de météorisation des grès, conservant un souci constant de « quantification » (quelques mesures sont faites et leur emplacement est stipulé avec suffisamment de précision pour permettre une éventuelle comparaison à presque 50 ans d'intervalle). Une analyse pétrographique (minéralogie, texture et porosité – cette dernière évaluée selon les méthodes préconisées par Birot : bleu de méthylène, goutte à

goutte, évaporation après immersion) suit ce premier inventaire, analyse qui est ensuite confrontée aux agents d'érosion (analyse des pluies : température, pH, impacts de la chaleur et de l'insolation). S'en suit une analyse des processus de météorisation susceptibles d'expliquer les différentes formes d'altération observées, les processus biologiques, notamment microbiens, ayant une large place au sein du travail de Jean Delvert qui fait preuve d'un véritable regard de biogéomorphologue, osant une collaboration transdisciplinaire audacieuse avec l'Institut Pasteur de Phnom Penh. Ses conclusions toutefois tempèrent le rôle du vivant : « L'érosion est essentiellement l'œuvre de l'eau des pluies. L'action directe de la température et de l'insolation peut être considérée comme négligeable [...] L'action directe de la végétation est très faible et négligeable : les lichens n'attaquent pas la pierre ; les débris végétaux n'attaquent pas la pierre. » Néanmoins, il conclut que « la présence de calcite permet une action bactérienne extrêmement efficace. Tout se passe donc comme si la calcite n'était dissoute qu'à la suite d'une action bactérienne ». Pour Delvert, le ruissellement a également un rôle faible et l'essentiel de l'érosion est dû à l'humidité atmosphérique : les variations hygrométriques conduisent à des transferts d'éléments minéraux au sein des grès, à la formation de croûte indurée, de cortex souvent ferrugineux. Finalement, Delvert pressent que l'hydratation des grès est un mécanisme essentiel de leur altération.

Par l'étude méthodique des microformes météoriques présentes sur les mégalithes armoricains, et plus spécifiquement les alignements de Carnac, Dominique Sellier (1991) cherche à « identifier les processus responsables de la météorisation, à déterminer les rapports entre les formes d'érosion, leurs supports mégalithiques et leur environnement passé ou actuel » et, *in fine*, d'en tirer « des renseignements sur la vitesse de l'érosion des roches granitiques dans un milieu tempéré proche du littoral ». Cette double perspective concernant les processus d'érosion actuels/ passés, vitesses et rythmes de l'érosion fait l'originalité du travail de Sellier. Les formes de météorisation sur les granites armoricains avaient fait l'objet d'analyses dès les années 1950 avec les travaux de Rondeau (1958) et Schülke (1968, 1970), ce dernier s'attardant en particulier sur les réseaux polygonaux, les vasques à disques d'origine anthropique, les influences de l'océan sur la météorisation des granites ou des grès armoricains. Des études plus systématiques ne seront réalisées qu'au cours des années 1990 par Sellier qui, après avoir examiné la météorisation des mégalithes et reliefs ruiniformes de Prinquiau, en Loire-Atlantique (Sellier, 1977 ; 1978), offre une classification des formes d'érosion postmégalithiques (Sellier, 1997). Dans un article consacré aux significations des marqueurs des rythmes de la météorisation des granites en milieu tempéré océanique (Sellier, 1998), il s'attachera également à l'altération de la pierre monumentale en pays bigouden : églises, chapelles et calvaires construits depuis le XV<sup>e</sup> siècle sont appréhendés comme des témoins des stades initiaux de la météorisation et des vitesses d'accomplissement de cette dégradation au cours des siècles. Yannick Lageat, en collaboration avec Sellier et Twidale, a par ailleurs étudié le menhir christianisé de Saint-Uzec (Lageat *et al.*, 1994).

Un retour au Cambodge s'opère à partir de 2004 à l'initiative de Marie-Françoise André qui s'inscrit dans la continuité de Jean Delvert, du moins sur le plan géographique, bien que sa réflexion s'oriente plus précisément sur l'intensité des dégradations subies par les temples khmers et sur les vitesses de dégradation (André, 2006). S'appuyant sur des travaux menés depuis 2000 dans le Massif central, M.-F. André rend sa démarche originale par la volonté de comparer des monuments construits dans des lithologies similaires (les grès), à des époques à peu près semblables (IX<sup>e</sup>-XIII<sup>e</sup> siècles pour Angkor, XI<sup>e</sup>-XV<sup>e</sup> siècles pour le Massif central), mais ayant évolué dans des ambiances climatiques différentes.

A ces travaux de géomorphologie fondamentale qui, par l'examen de monuments historiques ou préhistoriques, contribuent à la connaissance de l'érosion, s'ajoute une recherche appliquée issue exclusivement des expérimentations du Centre de Géomorphologie de Caen. En 1993, Catherine Samson-Gombert soutient une thèse sur l'altération de la pierre de Caen sous la direction de Jean-Pierre Lautridou.

## **2 – Les scientifiques « monumentaux » français non-géographes**

Si la géographie française tarde à s'approprier le potentiel « heuristique » de la pierre monumentale, de nombreuses disciplines ont pourtant largement investi ce champ de recherche. Deux grandes stratégies peuvent être distinguées : 1- les études anatomique et physiologique de la pierre monumentale (porosité, résistance des matériaux, transferts des fluides) et 2- la conservation de la pierre, qui est une mise en application de la démarche fondamentale. Cette seconde approche trouve sa légitimité dans les fréquents partenariats engagés avec le Laboratoire de Recherches sur les Monuments Historiques de Champs-sur-Marne (cf. Vergès-Belmin, 1993) ou dans le financement des thèses par les collectivités territoriales, notamment les Conseils régionaux. Nous avons choisi quelques travaux significatifs ayant contribué à l'émergence de laboratoires leaders dans le domaine ou ayant dirigé plusieurs thèses ou ouvrages sur le sujet.

### **De l'anatomie à la physiologie de la pierre monumentale**

Initiée par Michel Rautureau à l'Université d'Orléans en collaboration avec le CNRS, cette thématique est aujourd'hui développée par l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO) et le Centre de Recherche sur la Matière Divisée (CRMD). Michel Rautureau est à l'origine un physicien spécialiste de la modélisation des structures cristallines des minéraux argileux (cf. Caillère *et al.*, 1982). Ses travaux l'amèneront à s'intéresser à l'altération de la pierre bâtie et à la direction d'un ouvrage en collaboration avec un géologue, Guy Pierre, et un biologiste, Claude Hartmann (Rautureau, 2000).

Daniel Jeannette, directeur de recherches au CNRS, a examiné l'altération des grès de la cathédrale de Strasbourg et a dirigé une thèse sur le sujet (Thomachot, 2002). On lui doit également une contribution à la connaissance de l'altération des grès vosgiens en milieu rural à partir de l'exemple du château du Landsberg. Il est l'un des coordinateurs de l'ouvrage collectif « La conservation de la pierre monumentale en France » (Philippon *et al.*, 1992).

La plus géographique des thèses de ces non-géographes est celle d'Emmanuelle Bernabé (1996). Elle porte sur l'origine, les mécanismes d'altération et la conservation des pierres mises en œuvre pour deux monuments historiques du Finistère : la Basilique Notre-Dame-du-Folgoët et l'église Saint-Nonna de Penmarc'h. Dans le cas de l'église Saint Nonna, trois types d'altération ont pu être mis en évidence : la desquamation des parements extérieurs, l'arénisation (« désagrégation sableuse ») des parements intérieurs et le dépôt de concrétions de calcite sur ces derniers. En ce qui concerne la Basilique Notre-Dame-du-Folgoët, l'altération la plus importante est la desquamation de la kersantite grossière. Les parements intérieurs de l'église Saint-Nonna de Penmarc'h présentent un taux d'altération moyen de 25 mm par siècle (10 cm en 400 ans), qui s'explique, selon l'auteur, par le climat océanique, la proximité de l'océan et par le mauvais entretien de l'édifice.

Les travaux des non-géographes se concentrent donc depuis une décennie sur la caractérisation minéralogique et chimique fine de la pierre à partir de moyens techniques

classiques, accessibles aux géographes : microscopies optique et électronique, microsonde EDX, spectroscopie infra-rouge, spectroscopie Raman, diffractométrie des rayons X, analyse thermogravimétrique, analyse par ultra-sons. Dans le cadre de la caractérisation des milieux poreux, ils utilisent des techniques éprouvées comme la porosimétrie mercure, la pycnométrie, l'analyse microscopique, des mesures de surface spécifique et développent de nouvelles approches comme celles utilisant la tomographie X afin de caractériser le réseau poreux en 3D. Tous ces moyens permettent de comparer quantitativement une zone altérée d'une zone intacte (ou provenant directement d'une carrière) et ainsi de caractériser l'évolution du réseau poreux causée par l'altération.

La seconde étape du travail concerne l'étude à proprement parler des transferts de fluides (eau liquide et gazeuse). Des expériences de laboratoire (imbibition, courbes de rétention, séchage...) permettent de caractériser macroscopiquement ces propriétés. La difficulté intervient lorsque l'on essaie de relier les caractéristiques microscopiques déterminées lors de la première étape avec ces propriétés macroscopiques. Un moyen de le faire est de simuler numériquement le transfert de fluide à partir des reconstructions tomographiques et ainsi passer d'une échelle microscopique à une échelle macroscopique. Cette dernière étape de simulation commence et va intégrer, à terme, les principaux processus chimiques constatés expérimentalement au sein des pierres. La modélisation des transferts sera le préalable à la compréhension des phénomènes de dissolution-recristallisation qui conditionnent la durabilité du matériau ouvragé. Les physiciens des matériaux, notamment ceux d'Orléans, sont donc en train d'effectuer un premier saut d'échelle passant de la connaissance minutieuse de l'anatomie des pierres à sa physiologie (altération).

### **3 – Pour une géographie « monumentale » française**

Il y a un double intérêt à ce que la géographie française se penche davantage sur les monuments en pierre : d'une part, la pierre monumentale contribue à la connaissance géographique de l'érosion ; il s'agit là de l'essentiel des contributions des géographes français sur le sujet à ce jour. Or cette thématique pourrait être très largement développée en s'appuyant sur le potentiel offert par le territoire national : les édifices religieux et les monuments funéraires constituent, en France métropolitaine, un réseau spatial à maillage serré qui permettrait une recherche fine sur la spatialisation des processus. A cette distribution spatiale, s'ajoute une distribution temporelle large qui offre également une temporalité à ces études spatiales. Enfin la variabilité des matériaux de construction permet de travailler sur un large éventail lithologique qui inscrit ces études dans une logique de comparaison (érosion différentielle). En ce qui concerne les mégalithes, objets posant des problèmes de repérage des surfaces de référence ou de datation, ils offrent un saut d'échelle au niveau temporel qui renseigne sur l'évolution à « long » terme de ces matériaux via l'apparition de micro-modèles de maturité. Si la densité des sites bretons est exceptionnelle, les mégalithes restent cependant largement distribués dans le territoire métropolitain le long d'une diagonale Bretagne-Ardèche, à laquelle s'ajoute la Provence et la Corse, autorisant également une spatialisation des processus de météorisation à une échelle pluri-millénaire.

D'autre part, et c'est le second intérêt du lien géographie/ pierre monumentale, le savoir géographique et les techniques nouvelles d'expression de ces savoirs (à travers la géomatique notamment) sont essentiels pour définir des stratégies de conservation adaptées à l'échelle des monuments. Les travaux de Bernd Fitzner (2004) ou de Robert Inkpen (2001), pour ne citer qu'eux, ont montré ailleurs la richesse de la contribution géographique à l'appréhension de la dynamique de dégradation des monuments en pierre.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRÉ M.-F., 2006. – Sandstone weathering rates at the Angkor temples (Cambodia). *Heritage, weathering and conservation* (Fort, Alvarez de Buergo, Gomez-Heras, Vazquez-Calvo, eds), 165-175.
- CAILLÈRE S., HÉNIN S., RAUTUREAU M., 1982. – *Minéralogie des argiles*, 2 tomes, I.N.R.A., Masson, 184 et 189 p.
- FITZNER, B., 2004. – Documentation and evaluation of stone damage on monuments. *10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Stockholm : 677-690.
- INKPEN R., FONTANA D., COLLIER P., 2001. – Mapping decay: integrating scales of weathering within a GIS. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26 (8) : 885-900.
- JEANNETTE D., 1980. – Les grès du château du Landsberg; exemple d'évolution des "Grès vosgiens" en milieu rural, *Sciences Géologiques (Bulletin)*, 33 (2) : 111-118.
- LAGEAT Y., SELLIER D., TWIDALE C.R., 1994. – Mégalithes et météorisation des granites en Bretagne littorale, France du nord-ouest. *Géographie Physique et Quaternaire*, 48 : 107-113.
- PHILIPPON J., JEANNETTE D., LEFEVRE R.A., 1992. – *La conservation de la pierre monumentale en France*, éd. CNRS, Paris, 270 p.
- POPE G.A., MEIERDING T.C., PARADISE T.R., 2002. – Geomorphology's role in the study of weathering of cultural stone. *Geomorphology*, 47 : 211-225.
- RAUTUREAU M., (sous la dir.) 2000. – *Tendre comme la pierre. La pierre : l'avenir du passé*. Nouvelle édition, Conseil Régional du Centre, 116 p.
- RONDEAU A., 1958. – Corse et Bretagne: à propos du modelé granitique de la région de Trégastel (Côtes-du-Nord), *Norois*, 20 : 451-457.
- SCHÜLKE H., 1968. – Quelques types de dépressions fermées littorales et supra-littorales liées à l'action destructive de la mer (Bretagne, Corse, Asturies), *Norois*, 57 : 23-42.
- SCHÜLKE H., 1970. – Les « vasques à disque », un trait typique du microrelief granitique de la côte bigoudenne (Finistère). *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, vol. XII (4) : 361-368.
- SELLIER D., 1977. – Mégalithes et reliefs granitiques entre la Loire et le sillon de Bretagne. *Bull Soc. Nantaise Préhistoire*, 1 : 1-11.
- SELLIER D., 1978. – Les tors et les microreliefs des granites d'anatexie de Prinquiau (base du Sillon de Bretagne). *Bull. Soc. Scienc. Natur. de l'Ouest de la France*, tome LXXVI : 135-146.
- SELLIER D., 1991. – Analyse morphologique des marques de la météorisation des granites à partir de mégalithes morbihannais. L'exemple de l'alignement de Kerlescan à Carnac. *Rev. Archéol. de l'Ouest*, 12 : 21-41.
- SELLIER D., 1997. – Utilisation des mégalithes comme marqueurs de la vitesse de l'érosion des granites en milieu tempéré : enseignements apportés par les alignements de Carnac (Morbihan). *Zeitsch. für Geom.*, 41 : 319-356.
- SELLIER D., 1998. – Significations de quelques marqueurs des rythmes de la météorisation des granites en milieu tempéré océanique. *Cahiers nantais d'aménagement*, 49 : 87-110.
- VERGES-BELMIN V., 1993. - État des recherches sur l'altération et la conservation des monuments historiques français. In : *Alteracion de granitos y rocas afines, Deterioro de monumentos historicos. Consejo Superior de Investigaciones Cientificas*, Madrid : 117-124.

1. **DELVERT Jean**, 1961. *Recherches sur l'érosion des grès des monuments d'Angkor*. Thèse complémentaire, 100 p.
2. **BROMBLET Philippe**, 1989. *Les dégradations des pierres gréseuses des temples de Karnak (Egypte). Analyse pétrologique des mécanismes et histoire de ces dégradations*. Thèse Université de Paris 7 et LRMH, 199 p.
3. PAULY Jean-Pierre, 1990. *Altération de la pierre en oeuvre en relation avec la climatologie et l'architecture. Simulation et produits de protection*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 329 p.
4. RIGO C., 1990. *Etude de l'altération des matériaux pierreux en oeuvre en Région Centre. Caractérisation chimique et pétrochimique des tuffeaux et de leurs dégradations*. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 181 p.
5. RÉMY Jean-Michel, 1993. *Influence de la structure du milieu poreux carbonate sur les transferts d'eau et les changements de phase eau-glace. Application à la durabilité au gel de roches calcaires de Lorraine*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 355 p.
6. HAMMECKER Claude, 1993. *Importance des transferts d'eau dans la dégradation des pierres en oeuvre*. Thèse, Université de Strasbourg 1, France.
7. **SAMSON-GOMBERT Catherine**, 1993. *Influences d'un environnement urbain et maritime sur les altérations d'un calcaire en oeuvre: la pierre de Caen*. Thèse de doctorat, Université de Caen, 298 p.
8. BENHARBIT MORCHADI Meriem, 1994. *Interface Pierre-Mortier : Mécanismes de transfert et d'altération, procédé de passivation*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 196 p.
9. DESSANDIER David, 1995. *Etude du milieu poreux et des propriétés de transfert des fluides du tuffeau blanc de Touraine. Application à la durabilité des pierres en oeuvre*, thèse Universités d'Orléans et de Tours, Conseil Régional du Centre, B.R.G.M.
10. AUSSET Patrick, 1996. *Approche expérimentale de la formation des croûtes noires sulfatées sur les matériaux pierreux en atmosphère urbaine polluée*. Thèse de doctorat de l'Université Paris XII, 243 p.
11. BERNABÉ Emmanuelle, 1996. *Les mécanismes d'altération des monuments historiques en environnement océanique et rural. Application à la conservation de l'église Saint Nonna de Penmarc'h et de la basilique Notre-Dame du Folgoët*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, 216 p.
12. BANNERY Fabienne, 1997. *Les apports atmosphériques particuliers en Arles: relation avec la sulfatation des matériaux*, Thèse de doctorat de l'Université Paris XII, 232 p.
13. CHABAS Anne, 1997. *Rôle de l'environnement atmosphérique marin dans la dégradation des marbres et du granite de Délos (Cyclades-Grèce)*, Thèse de doctorat de l'Université Paris XII, 204 p.
14. BRUNET-IMBAULT Barbara, 1999. *Etude des patines de pierres calcaires mises en oeuvre en région Centre*. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 243 p.
15. CHÉNÉ Grégoire, 1999. *Modélisation physique des transferts hydriques dans un bloc de tuffeau*. Thèse de doctorat, Université de Nantes, 163 p.
16. DERBEZ Mickaël, 1999. *Rôle des apports atmosphériques dans l'altération de calcaires tendres en environnement urbain : la cathédrale de Tours*. Thèse de doctorat, Université Paris XII, 241 p.
17. THOMACHOT Céline, 2002. *Modifications des propriétés pétrophysiques de grès soumis au gel ou recouverts d'encroûtements noirs vernissés*. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 263 p.
18. BECK Kévin, 2006. *Étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité*, Thèse Université d'Orléans, 244 p.
19. ANNE Séverine (en cours 2005-2008). *Analyse cristallographique et physico-chimique de biominéralisations utilisées dans le traitement des pierres calcaires mises en oeuvre*. Thèse Université d'Orléans.
20. MALLAT, Amjad, (en cours 2003-2007). *Etude des phénomènes de dégradation des monuments anciens. Matériaux et techniques de réhabilitation*. Ecole Centrale des Arts et Manufactures de Paris.

Tableau 1 : Thèses françaises consacrées à l'étude de la dégradation de la pierre monumentale (par ordre chronologique). En gras, les thèses de géographie.  
*Table 1. French thesis on the deterioration of stone. In bold, thesis in Geography.*