



MATÉRIAUX & SAVOIR-FAIRE

Les monuments historiques et la pierre

monuments historiques et objets d'art du Languedoc-Roussillon
DIRECTION RÉGIONALE DES AFFAIRES CULTURELLES



Textes

Henri de la Boisse (H. B.)

Géologue, maître de conférence, université Montpellier II

Philippe Bromblet (Ph. B.)

Ingénieur de recherche, géologue, centre interrégional de conservation et de restauration du patrimoine (CICRP), Marseille

David Dessandier (D. D.)

Directeur régional Provence-Alpes-Côtes-d'Azur du service géologique et du bureau de recherche géologiques et minières (BRGM), Marseille

Thierry Dubessy (T. D.)

Ingénieur du patrimoine, DRAC/CRMH Languedoc-Roussillon

Lise Leroux (L. L.)

Ingénieur de recherche, géologue, laboratoire de restauration des monuments historiques (LRMH), Champs-sur-Marne (77)

Patrick Palem (P. P.)

Restaurateur, SOCRA, Périgueux (24)

Les monuments historiques et la pierre

Couverture :

Dio-et-Valquières (34), détail parement en grès du château : dégradation par alvéolisation.

Page précédente :

Examen *in situ* à la loupe binoculaire des dépôts présents sur l'épiderme de la pierre en vue d'un nettoyage documenté.



Résistante au temps et aux aléas de l'Histoire, la pierre est le matériau de construction le plus fréquemment utilisé jusqu'à une époque récente en France et plus largement en Europe. Symbole de pérennité et de noblesse, elle est l'un des matériaux traditionnels des monuments historiques.

Elle subit cependant au fil du temps des altérations diverses auxquelles des équipes pluridisciplinaires composées d'architectes, de géologues, de conservateurs, de techniciens, d'archéologues, d'ingénieurs, essaient de répondre afin de conserver aux monuments historiques leur aspect mais aussi leur authenticité. S'il est parfois inévitable, l'apport de matériau neuf n'intervient qu'après épuisement des différentes options de traitement possibles.

En collaboration avec le Centre interrégional de conservation et de restauration du patrimoine (CICRP), le Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH) et le Bureau de recherche géologique et minière (BRGM), la direction régionale des affaires culturelles du Languedoc-Roussillon travaille dans le cadre du projet « PierreSud » à l'identification des pierres de construction utilisées dans la région, à l'identification des carrières d'extraction et des possibles pierres de substitution.

Les pages qui suivent proposent à tous, élus, techniciens, amateurs ou curieux, de découvrir les questions indispensables à la conservation et au traitement de la pierre et de partir à la rencontre de ce matériau qui nous est si proche et pourtant si difficile parfois à connaître.

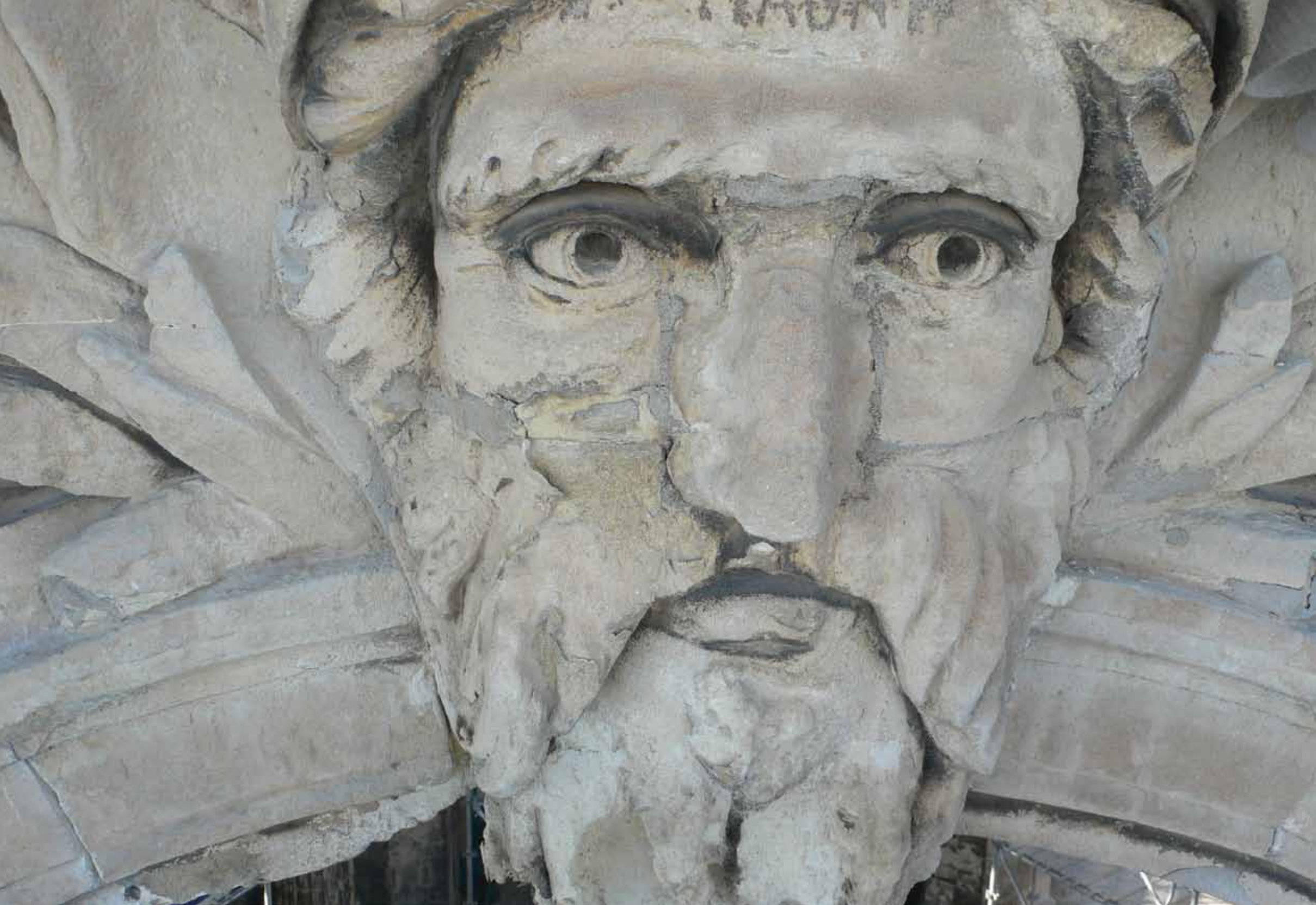
Didier Deschamps

Directeur régional des affaires culturelles du Languedoc-Roussillon

Montpellier, cathédrale Saint-Pierre : détail.

Pages suivantes :

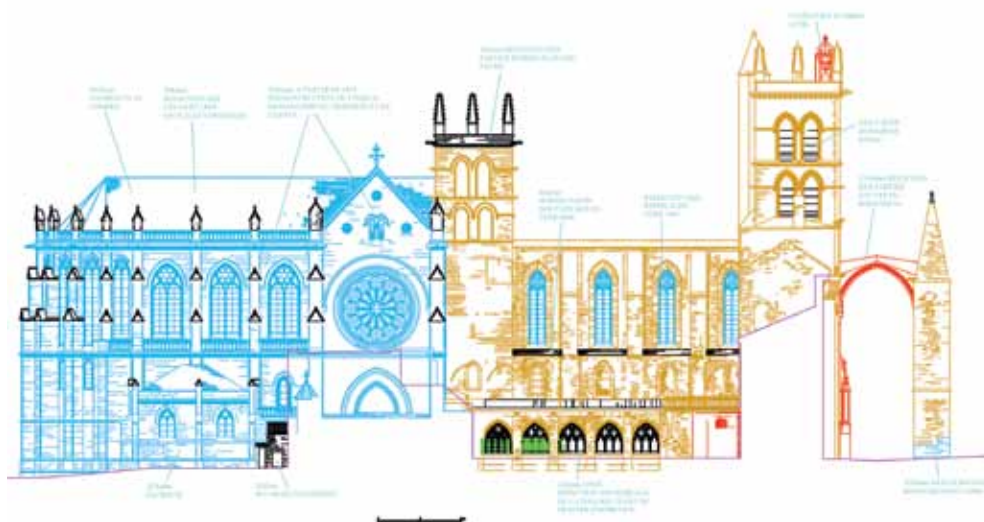
Montpellier, temple des eaux de la place royale du Peyrou. Représentation d'une divinité fluviale ornant une clé d'un arc avant restauration : mise en évidence des salissures et encroutements, des desquamations, et des restaurations anciennes sur le visage probablement au ciment. Calcaire coquillier compact fin poreux (12%) et d'une faible résistance mécanique (environ 7 MPA).





PLAN DE CRITIQUE D'AUTHENTICITE
FACADE OUEST

— Origine
 — Remplacement, ajout ou suppression
 — Réparation, entretien ou consolidation
 — Réhabilitation, restauration ou réfection
 — Réaménagement, modification ou suppression



Méthode d'approche pour la conservation des monuments

La région Languedoc-Roussillon compte un peu plus de 2 000 édifices protégés au titre des monuments historiques couverts ou bâtis pour la plupart en pierre de taille ou en moellon, auxquels il faut rajouter les croix de chemin et les retables en marbre, calcaire coquillier ou albâtre.

Avec le temps, de nombreux désordres, liés fréquemment à des problèmes d'humidité, peuvent apparaître. Ces accidents souvent causés par une absence d'entretien ou un environnement agressif révèlent des problèmes plus complexes inhérents à la structure des matériaux.

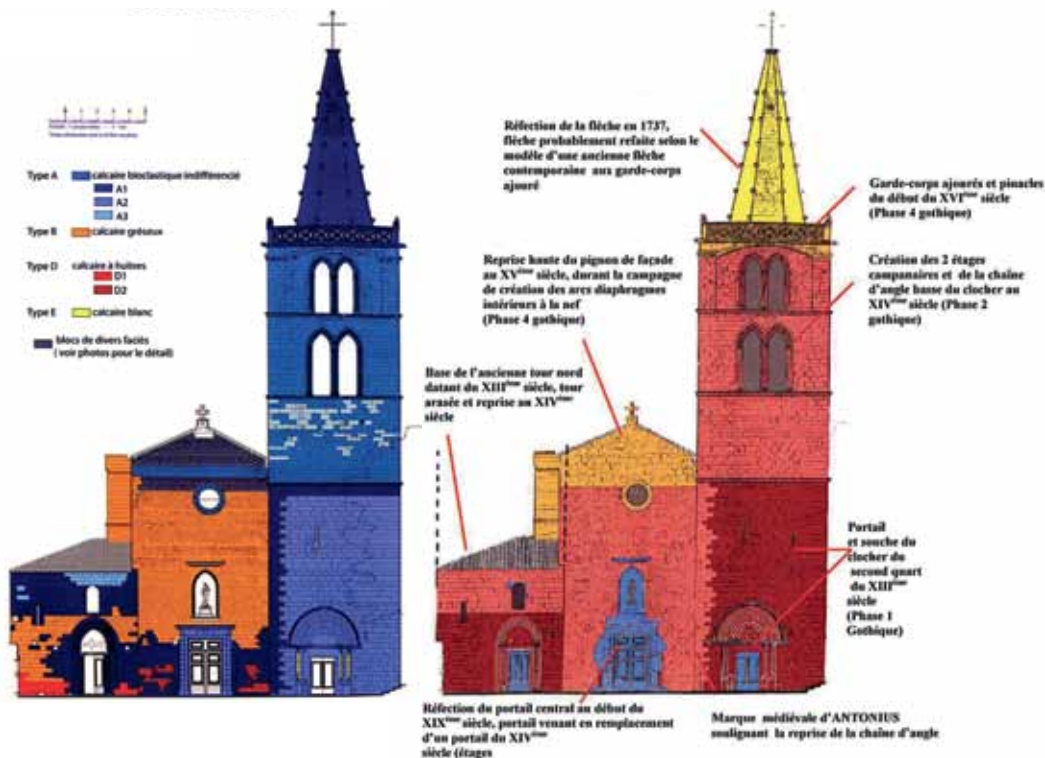
Dès lors qu'une intervention est décidée par le maître d'ouvrage, la recherche de l'origine des causes d'altération doit être engagée. Faire l'économie de ce constat fait prendre le risque d'une intervention hasardeuse, aléatoire, au résultat incertain voire contraire au résultat attendu. De la pertinence de cette étude dépend la réussite du projet. Elle peut comprendre les éléments suivants :

1- La réalisation d'un relevé graphique détaillé sous format informatisé en DWG, document essentiel, support des données recueillies lors de l'étude, qui seront ainsi présentées sous forme synthétique, cartographique. Un relevé pierre à pierre peut se révéler nécessaire pour localiser précisément les altérations constatées et prescrire un protocole d'intervention adapté. Ce travail est réalisé, suivant le cas, par un dessinateur, un architecte du patrimoine ou un appareilleur.

2- L'analyse de bâti, précieuse pour la compréhension des constructions successives, des ajouts mais parfois également des suppressions, amenant à l'édifice actuel. L'étude de bâti se fonde sur l'analyse de textes ou l'examen des parements et peut

Montpellier (34), cathédrale Saint-Pierre : élévation ouest.

Relevé graphique et critique d'authenticité de la façade, Dominique Larpin, architecte en chef des monuments historiques, étude générale, juin 2003.



Sérignan (34), ancienne collégiale Notre-Dame-de-Grâce, élévation ouest.

A gauche : étude de bâti, Dominique Larpin, étude générale, juin 2007.

A droite : cartographie des différents matériaux, Henri de la Boisse, juin 2007.

renseigner sur l'origine des désordres constatés sur l'édifice. Pour cette prestation, les compétences d'un historien de l'art, d'un archéologue ou d'un architecte du patrimoine sont requises.

3- L'examen des matériaux

3a- 1^{re} phase, l'analyse pétrographique : basé sur l'observation, l'examen décrit la composition minéralogique du matériau et peut parfois expliquer la cause des désordres observés. L'examen peut être microscopique ou macroscopique (à l'œil nu), les deux étant complémentaires. Une fiche de description du faciès du matériau est alors établie. L'examen microscopique se fait à partir d'une lame mince. Cette intervention est réalisée par un géologue.

3b-2^e phase, l'analyse pétrophysique : cet examen définit les capacités techniques du matériau caractérisées par les mesures suivantes : masse volumique apparente et absolue, résistance à la compression, porosité et capillarité, dureté à la rayure, vitesse du son, parfois gélimité.

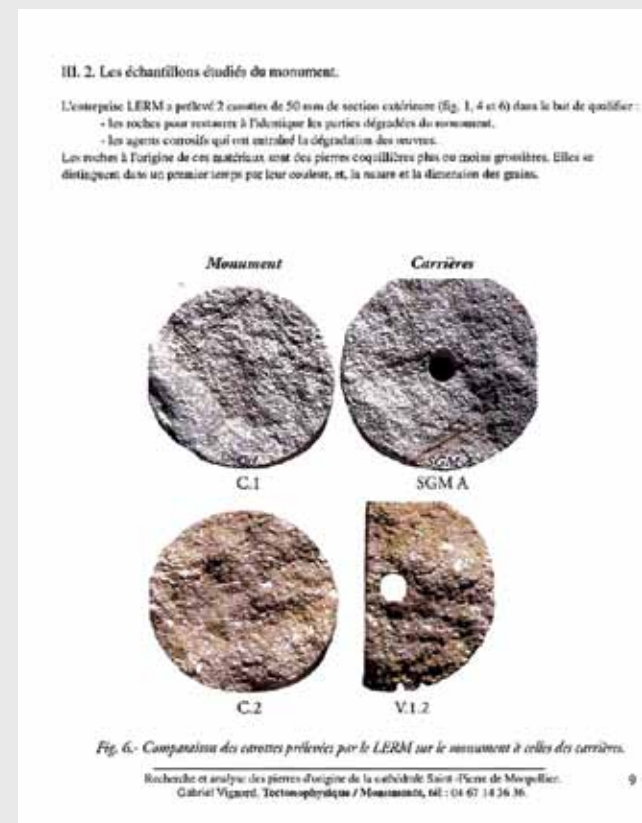
Cette prestation est réalisée par un laboratoire d'analyse des matériaux.

La lame mince, code-barre de la pierre

Elle est obtenue à partir d'un échantillon de pierre scié, collé sur une lame de verre, puis aminci jusqu'à mesurer 30 microns d'épaisseur et lue avec un microscope polarisant. Le géologue peut ainsi décrire la nature et la taille des grains (fossiles ou terrigènes), de la matrice, la nature et la fréquence des pores, ainsi que le ciment qui assure la cohérence du matériau.

La fiche d'identification reprend et synthétise cette observation fine. Ce travail de recen-

sement étendu à l'ensemble des calcaires coquilliers des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon va, très prochainement, fournir un catalogue de lames minces garantissant par simple comparaison une identification rapide des matériaux, des carrières probables d'origine. Cela permettra également la mise en place d'hypothèses liées aux pathologies et incompatibilités du matériau par la consultation de rapports sur des matériaux similaires déjà étudiés.



Comparaison en macro-faciès entre les pierres de la cathédrale Saint-Pierre de Montpellier et les pierres des carrières de Saint-Géniès-des-Mourges et de Vendargues (34).

Pages suivantes :

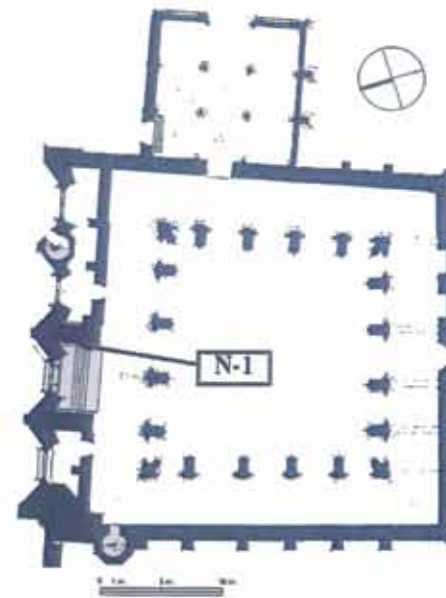
Fiche descriptive d'une pierre issue de l'ancienne cathédrale Saint-Just de Narbonne, localisant le prélèvement et présentant la vue en lame mince avec un microscope à lumière polarisée, Gabriel Vignard, géologue.

N-1

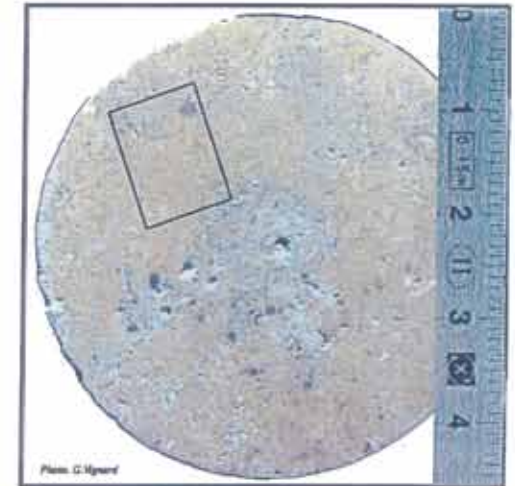
Parpaing de la façade externe de l'église Saint-Just côté cloître au premier étage.

Diagnose	Calcaire coquillier ocre-beige à verdâtre, microconglomérat calcaire	
	C'est un calcaire terrigène microconglomératique constitué par une matrice dans laquelle sont noyés des débris de coquilles d'animaux marins, des grains de quartz. De nombreux pores, proches de la taille des grains affectent la matrice.	
Age (de la roche)	Miocène	
Microfaciès	Matrice	boue calcaire constituée de micrite.
	Grains	d'origine biologique marine : fragments millimétriques dominants de tests de coquilles de Lamellibranches, de crustacés, Balanus; et de Bryozoaires. d'origine terrigène : quartz anguleux et monocristaux de calcite proche et inférieurs au millimètre.
	Pores	Les pores moins nombreux sont de taille millimétriques égale et inférieure aux grains.
	Ciment	Le ciment est très discret.
La taille des bioclastes est supérieure à 2mm, ce matériau est donc une biocalcirudite , et, d'après la classification de Dunhan 1962 modifié par Embry et Klouan 1971, compilation J. Mégard 1985, cette roche est un packstone .		

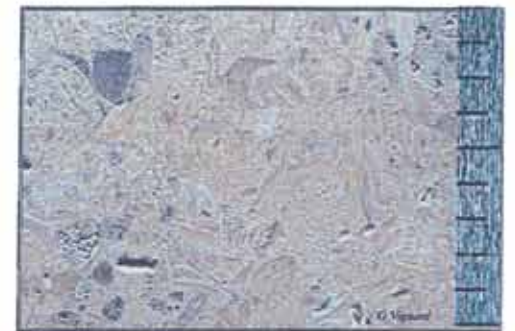
Monument



Situation de la carotte N-1 sur le plan de Régis Martin A.C.M.H.



Carotte, surface polie, diamètre 45 mm.



Macrofaciès, surface polie.



Microfaciès en lumière polarisée.

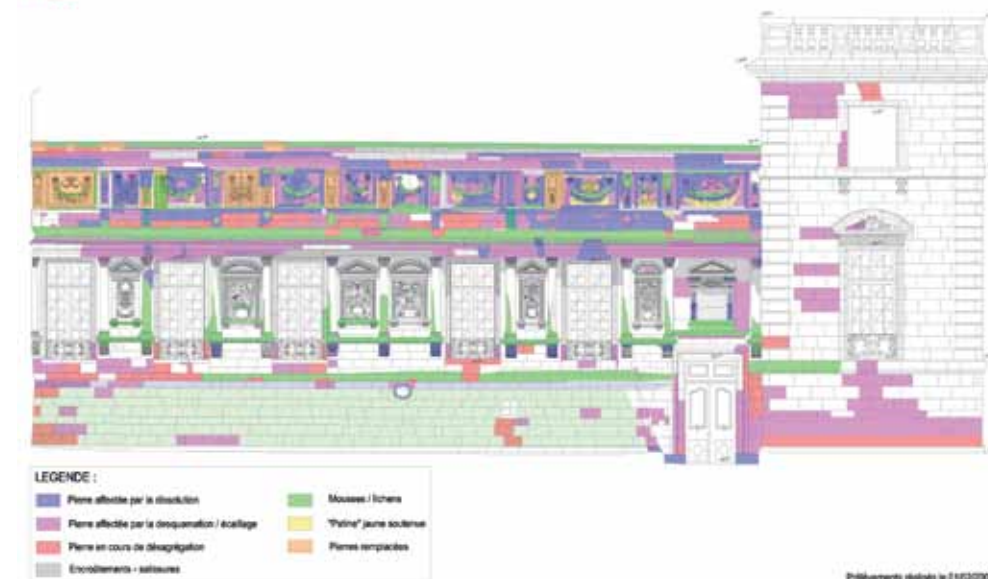


Microfaciès en lumière polarisée.

Marvejols [48], immeuble 9 rue Théodore Jean : relevé graphique et bilan des altérations, Jean-Louis Rebière, architecte en chef des monuments historiques, février 2005.

4- La réalisation d'une cartographie des matériaux de l'édifice, riche d'enseignements sur les choix opérés par les constructeurs, à partir des données précédentes, prestation confiée à un géologue.

5- La recherche de la carrière d'origine. Cette information est essentielle à la compréhension du déroulement du chantier. Elle permet de comparer les altérations des pierres en carrière avec celles du monument et, le cas échéant, de choisir une pierre de substitution. Elle requiert les compétences d'un géologue spécialisé en géologie.



6-L'établissement d'une cartographie des altérations de l'ouvrage à réaliser par un bureau d'étude d'analyse des matériaux. Ce document synthétise l'ensemble des données recueillies et offre une vision globale du diagnostic.

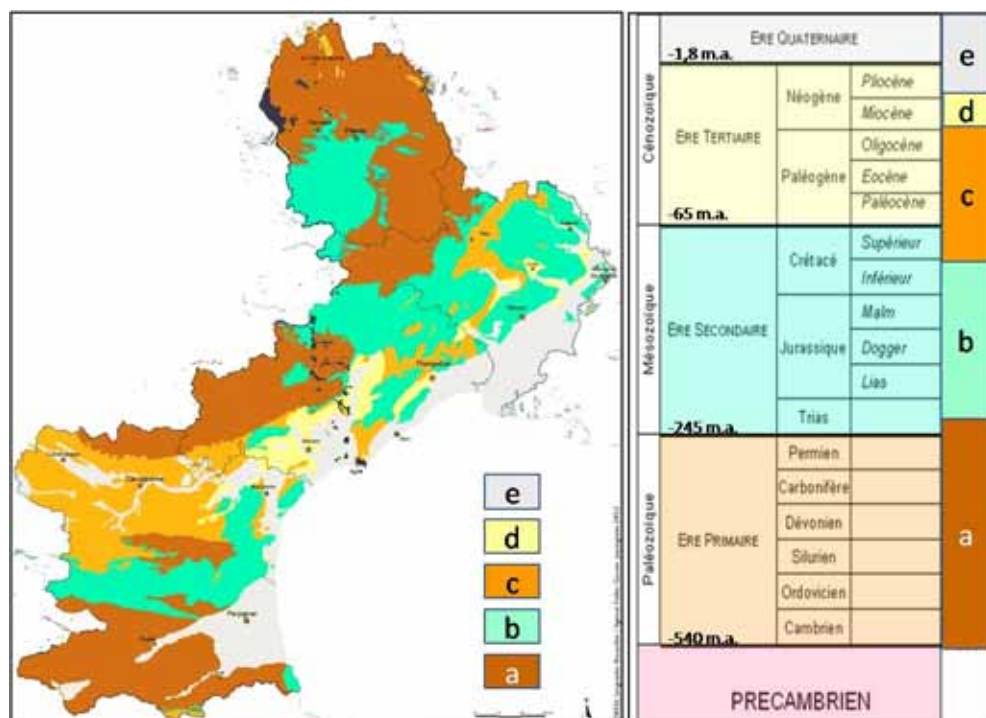
Marsillargues (34), château, façade nord de l'aile sud. Cartographie des altérations, LERM (Arles) 2002.

A l'issue des opérations précitées, un protocole de restauration peut être établi.

La confrontation des regards de l'historien de l'art, de l'archéologue, de l'architecte du patrimoine, du géologue et du bureau d'études spécialisé, du conservateur du patrimoine et du maître d'ouvrage enrichit la réflexion, permet de définir plus précisément le protocole d'intervention. Cette approche pluridisciplinaire est essentielle à la connaissance et à la conservation du monument.

(T. D.)

Richesse géologique et matériaux des monuments en Languedoc-Roussillon



Les roches liées aux grands épisodes de l'histoire géologique de la région ; a : roches liées à l'orogénèse hercynienne ; b : roches liées à la submersion marine secondaire ; c : roches liées à la formation de la chaîne pyrénéenne ; d : roches liées à l'incursion de la mer Mio-cène ; e : roches liées à la mer Pliocène et l'érosion quaternaire.

Lorsque l'on s'intéresse aux pierres utilisées dans la construction des monuments et de l'habitat traditionnel d'une région, le premier facteur à prendre en compte est la géologie locale qui va déterminer la nature de ces matériaux. En effet, outre les caractéristiques inhérentes à la roche elle-même, c'est le caractère pondéreux des matériaux qui va limiter leur transport en masse sur de longues distances, très coûteux. Dans la très grande majorité des cas, et surtout avant la mise en place de voies de communication comme le Canal du Midi au XVII^e siècle et l'essor du chemin de fer au XIX^e, les ressources



extraites étaient rarement éloignées de plus d'une dizaine de kilomètres de leur lieu d'utilisation.

Le Languedoc-Roussillon présente une extrême diversité des roches, magmatiques, métamorphiques et sédimentaires, que l'on retrouvera bien sûr dans les matériaux de construction. Cette diversité est due à la grande richesse de son histoire géologique qui s'est déroulée pendant près de 600 millions d'années (m.a.), en cinq grands épisodes successifs.

La formation de la chaîne hercynienne pendant l'ère primaire

Les roches sédimentaires marines formées au fond de l'océan de l'ère primaire entre -540 et -340 m.a. vont être reprises dans la formation de la grande chaîne de montagnes hercynienne, entre 340 et 290 m.a., et transformées en gneiss, schistes, quartzites, marbres... Elles vont simultanément être transpercées par la mise en place de roches granitiques venues des profondeurs de la croûte. Cet ensemble de roches métamorphiques et magmatiques forme le substratum de notre région, sur lequel sont venues par la suite s'accumuler les formations rocheuses plus récentes. Les mouvements tectoniques postérieurs et l'érosion l'ont amené à la surface du sol, et on retrouve actuellement ces ensembles de roches hercyniennes dans le nord et l'est de la Lozère, l'ouest du Gard et de l'Hérault, le nord et le sud de l'Aude et la majeure partie des Pyrénées-Orientales.

On retrouve dans ces régions, et suivant les affleurements disponibles, des monuments construits en roches granitiques, malgré la difficulté de mise en œuvre, comme des églises romanes et les remparts de Mont-Louis, et une forte utilisation des schistes pour les élévations et les couvertures (ardoises et lauzes). Les marbres sont utilisés comme pierres ornementales depuis la plus haute antiquité (Caunes, Saint-Pons, Céret...) ou plus rarement comme matériau brut de construction.

Mont-Louis (66) : remparts essentiellement composés de roches granitiques locales.

Villefranche-de-Conflent (66) : remparts bâtis avec de gros moellons de lithologie diverse, micaschistes, gneiss, granites et marbre.

Saint-Alban (48) : église bâtie en granite et arkoses (grès formés de débris granitiques) rouges et couverte de lauzes.



Saint-Etienne-d'Issensac (34) : pont construit en calcaire jurassique local et travertin quaternaire.

Peyrepertuse (11) : château édifié en calcaire crétacé sur lequel il est bâti.

Pendant et après la fin de cet épisode l'érosion joue sur les reliefs de la chaîne hercynienne, formant en milieu continental des pélites, des grès, des conglomérats qui vont s'accumuler dans un certain nombre de bassins sédimentaires comme celui de Lodève (avec ses « ruffes ») et Alès ou Graissessac avec ses grès et ses formations houillères, et qui seront utilisés localement.

La submersion marine et les prémices de la chaîne pyrénéenne pendant l'ère secondaire

A partir de -230 m.a. l'augmentation progressive et mondiale du niveau des océans pendant l'ère secondaire va provoquer la submersion de la plus grande partie de notre région et le dépôt d'imposantes séries de calcaires et dolomies, alternant avec des marnes et des argiles. Les calcaires massifs d'âge jurassique forment actuellement les Causses (ouest de la Lozère et nord de l'Hérault) et se retrouvent en surfaces plus limitées au sein des formations calcaires crétacées dont les larges affleurements s'étendent sur plus de la moitié du Gard et l'est de l'Hérault, et dans l'est et le sud de l'Aude et une partie des Pyrénées-Orientales. Ces calcaires, souvent de bonne qualité, homogènes et à grain fin (« pierre froide ») ont été utilisés pour de nombreux monuments, parmi lesquels on peut citer la cathédrale de Mende, celle d'Alès (pour sa partie la plus ancienne), le pont de Saint-Etienne-d'Issensac, le Fort Richelieu à Sète, les châteaux de Peyrepertuse et de Quéribus...



Vers 110 m.a. les premiers mouvements tectoniques qui aboutiront à la formation de la chaîne pyrénéenne se manifestent dans notre région par des mouvements verticaux de la croûte qui vont provoquer des émergences localisées, puis générales, dans ses parties orientales et centrales, alors que de profondes fosses marines se forment dans la future zone pyrénéenne. La sédimentation calcaire marine se poursuit dans les régions submergées alors que dans les zones émergées l'érosion provoque le dépôt de roches détritiques continentales (conglomérats, grès, argiles) et de calcaires lacustres que l'on retrouve dans une partie du Gard, l'est de l'Hérault et dans l'est et le sud de l'Aude. Les grès crétacés (parfois nommés « grès à reptiles ») montrent des couleurs variées de beige à rose en passant par l'ocre, comme dans la très belle église romane de Quarante. Ils peuvent dans certains cas arborer de belles auréoles rouges ou brunes d'une esthétique très particulière mise en évidence dans certains monuments comme les abbayes d'Alet, Lagrasse et Fontfroide.

La formation de la chaîne pyrénéenne, ère tertiaire

Au début de l'ère tertiaire la mer revient brièvement par l'ouest à partir de l'Atlantique, et progresse dans l'Aude jusqu'aux Corbières, submergées vers -50 m.a.. Les calcaires marins formés sont utilisés pour un certain nombre de monuments audois, comme les calcaires à alvéolines extraits sur place pour construire l'abbaye de Villelongue.

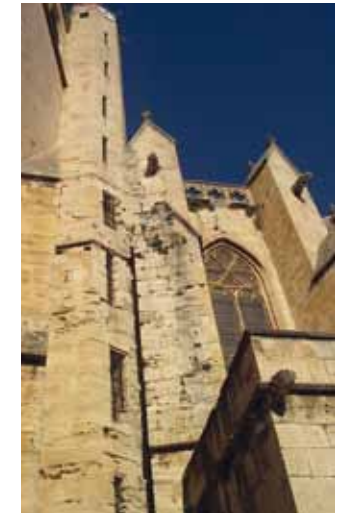
Quarante (34) : église en « grès à reptile » crétacé rose et ornements en basalte.

Alet (11) : ancienne cathédrale Sainte-Marie, grès crétacé.



Saint-Martin-le-Vieil (11), ancienne abbaye de Villelongue : bancs en calcaire éocène à la base des élévations.

Il y a 45 m.a. survient la surrection de la chaîne pyrénéo-provençale qui, contrairement à la chaîne hercynienne, ne va former que très peu de roches métamorphiques et aucune roche granitique. Les effets sur notre région seront des déformations, fortes au niveau de la chaîne et de la zone nord-pyrénéenne dans les Pyrénées-Orientales et le sud de l'Aude, localement plus ou moins importantes dans l'avant-pays jusqu'à la région de Montpellier vers le nord-est (Pic Saint-Loup). Les reliefs imposants créés pendant presque 10 m.a. sont immédiatement attaqués par une forte érosion donnant un grand volume de roches détritiques (conglomérats, grès, argiles...) qui vont s'accumuler essentiellement pendant l'Eocène sur de fortes épaisseurs dans une série de bassins d'avant chaîne suivant une direction nord-est/sud-est, le plus important étant celui de Carcassonne. Ces grès et conglomérats (encore appelés « molasse ») vont être à la base de tous les bâtiments construits dans ce bassin, dont le monument le plus connu est la Cité de Carcassonne, bâtie de grès à grain fin à moyen, ou encore les bâtiments construits avec des matériaux plus grossiers, comme le château de Pomas.



L'effondrement du sud du Languedoc, l'épisode marin miocène, ère tertiaire

A la fin de l'orogénèse pyrénéenne, une distension généralisée s'établit à partir de 35 m.a. en Europe, qui affecte aussi très fortement notre région. La partie orientale de la chaîne pyrénéo-provençale s'effondre ainsi que la bordure méditerranéenne, le golfe du Lion s'ouvre et de nombreux fossés d'orientation nord-est/sud-ouest se forment en Languedoc-Roussillon. Ces fossés se remplissent de sédiments détritiques continentaux provenant de l'érosion des reliefs pyrénéens. Entre -23 et -14 m.a., pendant la première moitié du Miocène une élévation du niveau des mers noie les zones basses de la partie sud de la région et conduit à une sédimentation marine de marnes et de calcaires dont on retrouve les roches essentiellement dans le Gard, l'Hérault et l'est de l'Aude. Les roches les plus emblématiques de cette période sont des calcaires coquilliers formés à faible profondeur sur les rivages, et qui ont été intensément utilisés de l'Antiquité à nos jours et extraits de plusieurs centaines de carrières, dont de gigantesques carrières patrimoniales à la périphérie des agglomérations. Le plus connu des monuments construits avec ce calcaire coquillier est le Pont du Gard, mais il est le matériau principal de la plupart des monuments, romains comme les arènes de Nîmes, médiévaux comme les cathédrales de toutes les grandes cités, du XVII^e et XVIII^e siècles comme l'aqueduc et la place royale du Peyrou à Montpellier et les ouvrages d'art du Canal du Midi...

Saint-Jean-de-Védas (34), carrière de La Peyrière : vue d'un des nombreux grands fronts de taille du calcaire coquillier miocène.

Saint-Etienne de Capetang (34), collégiale : le calcaire coquillier a remplacé lors de l'édification le calcaire gréseux de l'église romane initiale.



Agde (34), cathédrale-forteresse Saint-Etienne, édifiée en basalte local.

L'épisode marin pliocène et l'ère quaternaire

La mer se retire complètement du Languedoc vers -14 m.a. pour revenir au Pliocène, vers -5 m.a., avec une avancée moins importante vers le nord qu'au Miocène. Les dépôts sont des argiles et des sables, et la mer se retire au voisinage de ses rivages actuels vers -3,5 m.a. L'érosion et la sédimentation deviennent définitivement continentales dans tout le Languedoc avec des fluctuations du niveau des mers au quaternaire en fonction des épisodes glaciaires et la mise en place progressive du littoral actuel. Les sédiments sont alors alluvionnaires, fluvio-lacustres et lacustres. Certains de ces sédiments, très particuliers, ont été utilisés pour les monuments, comme les travertins pour l'ancienne abbaye de Gellone ou les galets du Tech pour l'église de Saint-André-de-Sorède.



Un épisode volcanique basaltique se développe entre 2 et 0,7 m.a. suivant un axe nord-sud, mais uniquement dans l'Hérault. Les basaltes ont été utilisés pour la cathédrale-forteresse d'Agde et fréquemment comme décoration dans les églises romanes.

Saint-Guilhem-le-Désert (34), ancienne abbaye de Gellone, construite en grande partie avec les travertins locaux.

En guise de conclusion...

A la fin de ce bref survol de la très riche histoire géologique du Languedoc-Roussillon, illustrée de quelques exemples des roches très diverses utilisées dans les monuments, il est frappant de remarquer la corrélation extrêmement forte entre la localisation des affleurements et les matériaux utilisés. La simple lecture d'une carte géologique permet donc de définir les grands types de roches que l'on va retrouver dans les monuments et l'habitat traditionnel dans une région donnée... Il faut, en revanche, remarquer qu'il existe souvent à l'intérieur de ces grands types de très fortes variations de faciès (aspect, couleur, composition...) qui confèrent tout l'intérêt et la finesse à la recherche de pierres d'origine ou de substitution à des fins de restauration.

(H. B.)

Les pathologies et désordres observés sur la pierre



Dissolution de la face supérieure d'une pierre calcaire (amphithéâtre de Nîmes) et colonisations biologiques associées.

Les dégradations de la pierre des monuments

Si l'on écarte les pathologies et les désordres liés à la statique et à la stabilité des édifices, la pierre a une excellente durabilité à la condition que l'architecture lui fournisse une protection suffisante contre les principaux agents naturels d'altération que sont l'eau, les sels solubles, l'activité biologique et la pollution atmosphérique.

L'eau peut être considérée comme le principal agent de dégradation de la pierre. Les cheminements de cette eau sont multiples : elle s'infiltre dans les maçonneries à partir des surfaces exposées aux pluies et aux ruissellements et à travers les toitures défectueuses, elle migre par capillarité depuis le sol, se condense sur les murs à partir de l'humidité de l'air... L'eau érode la pierre, crée des vides de dissolution, mobilise les sels solubles, favorise l'implantation des colonies biologiques. Elle diminue sa résistance mécanique et génère des fractures en gelant.

Les sels solubles s'associent souvent à l'eau pour provoquer de nombreux désordres sur les monuments historiques. Sulfates, chlorures, nitrates et carbonates alcalins se concentrent et précipitent sous diverses formes cristallisées (gypse, halite, thénardite...) quand l'eau s'évapore à la surface de la pierre. L'eau de mer et ses embruns, les eaux du sous-sol, la pollution atmosphérique, les mortiers à base de ciment, l'activité microbologique, les matériaux eux-mêmes sont des sources de sels. Ces sels n'ont pas tous le même effet destructif et toutes les pierres ne réagissent pas également aux sels solubles. Les cristallisations salines à l'intérieur de la pierre provoquent des phénomènes de desquamation et de désagrégation. Les cristallisations en surface forment des efflorescences ou des croûtes beaucoup moins dommageables.



L'importance et la qualité du réseau poreux, la nature et les proportions du sel, les conditions de température et d'humidité sont les principaux paramètres qui déterminent si les sels cristallisent à la surface ou à l'intérieur du matériau. De nombreux sels dits hygroscopiques sont sensibles aux variations de température et d'humidité de l'air. Ils sont cristallisés et stables au-dessous d'un certain taux d'humidité. Ils se transforment en une phase plus hydratée voire en une solution saline lorsque l'air devient plus humide. Des œuvres en pierre à l'abri dans un musée peuvent ainsi continuer à se dégrader au gré des variations de température et d'humidité à cause des alternances de cristallisation et de mise en solution de ces sels hygroscopiques dans le matériau.

Les altérations biologiques résultent de l'activité des nombreux organismes et micro-organismes vivants dans l'environnement et à la surface des pierres.

Les algues produisent des acides organiques, s'accrochent solidement sur la pierre et lui confèrent une coloration variable, verte (chlorophycées), noire (cyanobactéries ou algues bleues) ou rouge (chlorophycées de la famille des Trentepohlia). Elles préfèrent en général les supports rugueux, humides et bien exposés à la lumière. Les lichens forment eux aussi des recouvrements colorés. Ils pénètrent dans les vides et les joints intergranulaires de la pierre qu'ils élargissent, entraînant à long terme une désagrégation granulaire superficielle. Certains lichens créent des petits cratères superficiels nommés « biopitting » à la surface des pierres calcaires. En association avec des bactéries hétérotrophes, ils

Carpentras (84), chapelle des pénitents : remontées capillaires à la base d'une façade et désagrégation uniforme ou par alvéolisation.

Montpellier (34), mur de soutènement de la promenade du Peyrou : alvéolisation de la pierre sous l'effet des cristallisations de sels solubles.



Villeneuve-lès-Avignon (30), Charretrouse : colonisations biologiques noires (cyanobactéries dominantes) sur la coupole du collecteur d'eau.

Aigues-Mortes (30) : colonisations biologiques noires (cyanobactéries dominantes) sur le parement entre les contreforts des remparts.

Thoronet (83), abbaye : petits cratères correspondant à un phénomène de « biopitting » visible à la suite de l'élimination d'un lichen sur la pierre.



peuvent produire une patine brune d'oxalate très caractéristique. Des bactéries nitrifiantes oxydent l'ammoniaque d'origine agricole ou issue de traitements de la pierre en nitrates tandis que des bactéries oxydantes du soufre participent à la production des sels solubles à base de sulfates. Les plantes herbacées ou grimpantes, les arbres, les arbustes développent des systèmes racinaires qui exploitent les plans de faiblesse du matériau ou de la construction et exercent des pressions suffisamment importantes pour provoquer l'élargissement des fissures pré-existantes, favorisant ainsi la pénétration de l'eau et des sels et la fragmentation de la pierre. Lorsqu'ils sont trop nombreux en un seul lieu, les pigeons comme d'autres animaux constituent par leurs déjections, plumes, poils etc. une source non négligeable de matières organiques indésirables et de sels néfastes à la pierre.

La pollution atmosphérique particulaire et gazeuse contribue par différentes voies à la dégradation de la pierre. La combustion du charbon, des gaz et des dérivés du pétrole produit dans l'atmosphère des microparticules noires (suies, cendres volantes) à base de carbone, qui se déposent en abondance sur les pierres en milieu urbain et dans les régions industrielles. Ces particules sont à l'origine des fameuses croûtes noires qui enlaidissent les monuments. Parallèlement, certains gaz tel que le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de carbone, interagissent avec la pierre pour engendrer des sels solubles à base de sulfates et nitrates. Le dioxyde de soufre en particulier est responsable de la transformation du carbonate de calcium (calcite) en sulfate de



calcium (gypse) dans les premiers millimètres sous la surface des calcaires et des marbres. Ce sulfate constitue le ciment des croûtes noires indurées qui se développent sur les surfaces abritées des pluies et des ruissellements et cause des desquamations en cristallisant dans la pierre. Dans les zones lessivées, les eaux acidifiées ravinent la surface de la pierre et accroissent sa porosité.

Dans un environnement donné, ce sont les propriétés intrinsèques de la pierre, ses caractéristiques pétrophysiques, sa composition chimique et minéralogique, qui conditionnent la forme et l'intensité de l'altération.

Très schématiquement, les pierres fines, compactes et homogènes sont principalement affectées par l'érosion superficielle, le ravinement, le biopitting, la formation de patine brune d'oxalate et la fracturation due à leur comportement mécanique rigide. Elles sont peu sensibles aux sels solubles et aux phénomènes d'altération liés à l'imbibition. A l'opposé, sous l'effet de l'eau et en présence de sels solubles, les pierres tendres et poreuses, capillaires, se couvrent d'efflorescences, se desquament, se désagrègent de manière uniforme ou en formant des alvéoles. Les pierres qui présentent des textures, des constitutions hétérogènes très marquées ou des discontinuités, montrent quant à elles une forte tendance à la fissuration, au délitage et à l'altération différentielle qui crée des modelés alternant reliefs et creux à leur surface. Les pierres qui contiennent des argiles gonflantes se fragmentent en esquilles et se desquament en plaques



Nîmes (30), cathédrale : croûte noire formée sous la gueule d'un lion sculpté de la frise romane.

Nîmes (30), amphithéâtre : croûtes noires sur la pierre dans les zones abritées des pluies et des ruissellements.



Avignon (84), ancien hôpital Sainte-Marthe : bombement d'une plaque de marbre et des baguettes de son encadrement sur la façade. La calcite qui constitue ce marbre a la particularité de se dilater en chauffant (ensoleillement) dans une direction et de se rétracter dans les deux autres directions de l'espace. Les contraintes ou tensions internes qui en résultent sont capables de déformer les plaques de marbre de faible épaisseur.

Arles (13), abbaye de Montmajour : fragmentation en esquilles d'une colonnette du cloître.



épais, car ces minéraux gonflants diminuent la résistance mécanique du matériau et engendrent des variations dimensionnelles importantes en fonction de sa teneur en eau. Quant aux marbres décoratifs utilisés en dalles de faible épaisseur, ils se déforment jusqu'à se fracturer sous l'effet des variations naturelles de température et des tensions internes induites par la dilatation thermique anisotrope de la calcite qui les compose.

Enfin, les interventions de l'homme sont loin d'être négligeables dans la dégradation de la pierre. L'homme exerce une multitude d'actions sur le matériau depuis son extraction, sa taille et sa mise en œuvre. Le non respect des règles de l'art de la construction (pose en délit), les restaurations menées avec des méthodes ou des matériaux inadaptés, le manque d'entretien, la modification de l'environnement, les changements



d'usage, le vandalisme engendrent directement ou indirectement des dégradations qui se surimposent aux altérations naturelles et en accentuent parfois les effets.

Les altérations de la pierre se présentent sous des morphologies variées qui reflètent à la fois la diversité des matériaux et des mécanismes à l'œuvre. Plus de 70 formes d'altération de la pierre des monuments ont ainsi été inventoriées et décrites dans un récent glossaire international illustré : www.international.icomos.org (Ph. B.)

Saint-Gilles (30), ancienne abbatiale : cassures causées par le vandalisme révolutionnaire sur l'une des frises.

La mise en place des protocoles par le service des monuments historiques



Examen *in situ* à la loupe bino-
culaire des dépôts présents sur
l'épiderme de la pierre en vue
d'un nettoyage documenté.

La conservation de la pierre, une démarche scientifique et technique au service des monuments.

La conservation est une pratique relativement récente qui a progressivement pris le relais des travaux de restauration tels qu'ils étaient conçus et menés depuis le XIX^e siècle.

La restauration consistait alors à restituer un état ancien ou idéal de l'objet, au prix d'interventions importantes. Cette démarche a conduit à des réparations, des réfections, des remplacements de pierre importants, proches de véritables rénovations, voire à des restitutions complètes d'éléments manquants. Elle s'est aussi caractérisée par un manque de précaution dans l'utilisation de produits qui se sont révélés par la suite néfastes, dans l'application de traitements inefficaces mais irréversibles et par la mise en œuvre de matériaux (pierres, mortiers) incompatibles avec les matériaux originels.

Par réaction, l'approche actuelle se caractérise par des objectifs et des principes beaucoup plus prudents. Les interventions sont réduites et doivent modifier le moins possible l'existant, uniquement pour améliorer ses conditions de conservation, son état, son environnement, dans le but de prolonger sa durée de vie.

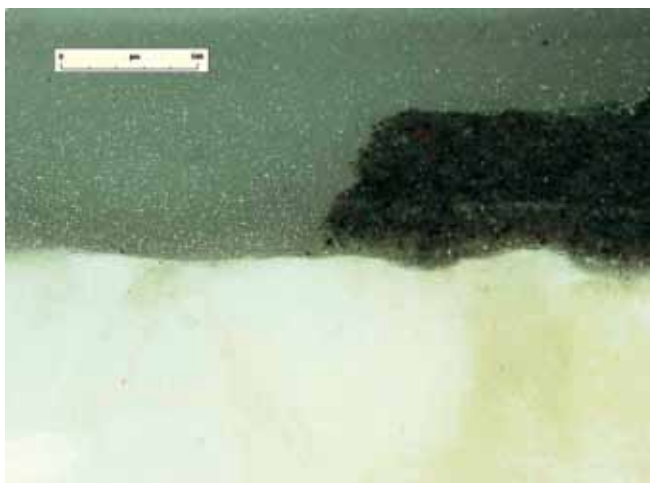
La méthodologie permettant d'atteindre ces objectifs s'est mise en place depuis une vingtaine d'années. Elle comprend une phase préalable d'investigations, d'essais, qui aboutissent à un protocole de restauration dans lequel vont s'enchaîner des interventions techniques variées. Cette phase préliminaire est le plus souvent réalisée dans le cadre d'une étude qui précède les travaux et permet à la maîtrise d'ouvrage et au maître d'œuvre de disposer d'une documentation historique et archéologique, de relevés architecturaux précis, d'un diagnostic basé sur des investigations scienti-

fiques sur les matériaux et sur l'environnement, d'essais de produits et de méthodes de conservation-restauration. Les données écrites, les documents graphiques et photographiques concernant l'historique de la construction, les modifications, destructions et restaurations précédentes sont recherchés et synthétisés. Il faut identifier les matériaux et prendre connaissance de leurs principales propriétés (compositions chimiques et minéralogiques, propriétés physiques) si elles ont été publiées, ou en demander l'analyse, sans omettre de rechercher des matériaux de substitution compatibles en prévision des remplacements à venir si les carrières d'origine ne sont plus exploitées.

Le diagnostic des altérations est basé en premier lieu sur l'observation des phénomènes de dégradations visibles, leur description et leur localisation en relation avec l'environnement. Des cartographies indiquant la distribution et l'intensité des phénomènes sont généralement réalisées et superposées à la cartographie des matériaux en œuvre. Des relevés, des sondages et des analyses non-destructives *in situ* peuvent apporter des informations complémentaires.

Cette phase initiale qui décrit l'état de conservation de l'œuvre, est décisive. Elle permet de proposer une ou plusieurs hypothèses sur l'origine des dégradations et sur les facteurs intrinsèques (liée aux matériaux) et extrinsèques (liée à son environnement) des processus en cours. Elle oriente l'échantillonnage (nombre, nature et emplacement des échantillons) et les analyses qui seront effectuées pour la plupart en laboratoire.

Les échantillons sont étudiés dans des laboratoires d'analyse des matériaux. Seules les techniques les plus pertinentes seront mises en œuvre en fonction de la problématique, de l'échantillonnage, pour confirmer ou infirmer les hypothèses



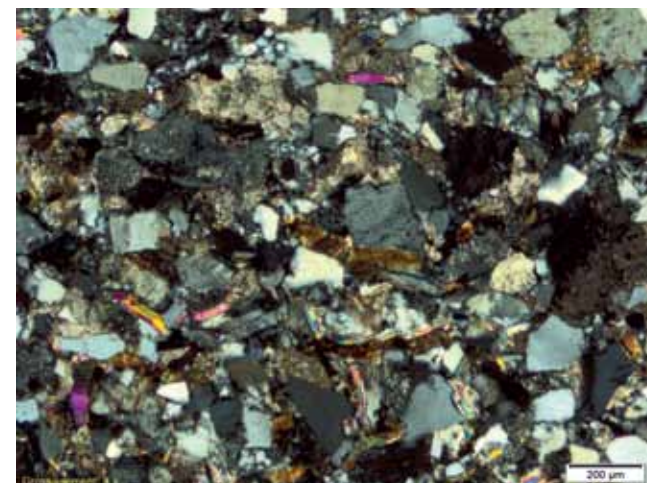
Vue en section polie d'un épiderme de pierre nettoyé sur la gauche et non nettoyé sur la droite, permettant de contrôler la qualité du nettoyage.

de terrain. Il n'existe pas de démarche analytique standard, chaque monument étant unique de par son architecture, son histoire, ses matériaux et son usage.

L'étude peut intégrer des analyses pour identifier ou doser des éléments chimiques, des minéraux néoformés (par exemple le dosage des sels solubles) ou des phases minérales et/ou organiques correspondant à d'anciens traitements.

Il peut être nécessaire d'observer le matériau à différentes échelles pour mettre en évidence les phases responsables de l'altération ou leurs effets ou encore d'anciens recouvrements ou imprégnations (traitement de protection, peinture, badigeon). Ces observations sont effectuées sur des surfaces brutes ou des surfaces polies par microscopie optique polarisante ou par microscopie électronique à balayage et couplées à différents systèmes d'analyse (microscopie Raman, Infra Rouge, spectrométrie dispersive en énergie...).

Les analyses pétrophysiques déterminent quant à elles les propriétés physiques de la pierre et leur évolution (résistance mécanique, porosité, capillarité...) pour évaluer le comportement de la pierre, l'effet de l'altération et l'impact des traitements. Les causes de dégradation ayant été identifiées et l'état de conservation de la pierre étant connu, vient le stade des préconisations. Il s'agit de proposer les interventions les plus pertinentes pour la conservation du monument. Les produits et techniques utilisés en conservation-restauration sont en constante évolution. Des revues scientifiques et techniques, des colloques et des ouvrages spécialisés exposent régulièrement



les résultats de la recherche dans le domaine. On peut aussi requérir si nécessaire l'assistance et l'avis compétent des personnels techniques et scientifiques des conservations régionales des monuments historiques (CRMH) et des laboratoires spécialisés (CICRP, LRMH) qui contribuent par leurs préconisations, leurs études et recherches à l'amélioration des connaissances sur les processus de dégradation, l'efficacité des produits et des techniques de conservation.

Des essais de traitements ou de techniques, en laboratoire ou dans des zones tests *in situ* peuvent s'avérer nécessaires afin de s'assurer de leur efficacité, de leur innocuité et d'évaluer si possible leur durabilité.

Cette phase d'étude où maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre sollicitent, selon les besoins, la collaboration d'historiens d'art, de scientifiques, d'entreprises qualifiées en maçonnerie et taille de pierre, de restaurateurs, nécessite des investigations et des budgets qu'il faut prévoir et programmer en amont. Les données acquises permettront bien souvent d'éviter des erreurs lourdes de conséquences et garantiront le bon déroulement et l'efficacité optimale de chaque intervention dans la phase opérationnelle du chantier. Elles sont de plus diffusables et valorisables auprès d'un public souvent mal informé sur les enjeux techniques et scientifiques actuels de la conservation du patrimoine bâti.

Il existe une multitude d'interventions possibles et variées pour assurer la conservation de la pierre et du monument, depuis les traitements biocides et les nettoyages, la consolidation, le dessalement et ses techniques d'accompagnement ou

Lame mince, *pietra serena*, grès à grain fin, vue en lumière polarisée et analyse.



Marseille (13), cathédrale : zones d'essais de nettoyage de croûtes noires sur les assises en grès sombre et en calcaire clair avec différentes pressions et poudres abrasives sur le parement.

ses solutions alternatives, les réparations à base de mortier et les substitutions de pierre, les opérations de refixage et enfin la protection de la pierre au moyen des produits variés, hydrofuges, anti-graffitis ou dispositifs anti-pigeons, sans parler de la mise à l'abri des sculptures et de leur substitution par des copies moulées.

La plupart de ces interventions sont irréversibles, techniquement délicates et nécessitent des produits et des matériels spécifiques. Elles doivent être confiées à des professionnels expérimentés, ayant reçu une formation de restaurateur. A la fin d'un chantier, les travaux de conservation/restauration étant terminés, les échafaudages démontés, il est possible d'élaborer un plan d'entretien et de suivi. L'expérience montre qu'il est toujours préférable de pratiquer une maintenance régulière et de programmer un suivi du monument pour intervenir dès les premières manifestations d'une nouvelle altération ou dès que les conditions de



conservation se dégradent. Cette politique rencontre pour des raisons compréhensibles d'efficacité, de déontologie et d'économie un succès croissant. Elle rejoint les préoccupations actuelles de la « conservation préventive » qui consiste à gérer et à agir en amont sur l'environnement plutôt que sur la matière même d'une œuvre d'art. (Ph. B.)

Nîmes (30), amphithéâtre : différents niveaux de nettoyage sur quatre petites fenêtres de nettoyage d'un épiderme de pierre couvert de croûtes noires et d'une patine orange sous-jacente.

Test d'absorption d'eau à la pipette de Karsten pour contrôler l'efficacité d'un traitement hydrofuge appliqué sur un parement de monument trois ans auparavant.

Traitement en conservation du retable de la chapelle de Bethléem

ancienne cathédrale de Narbonne



Narbonne (11), ancienne cathédrale Saint-Just : retable de la chapelle de Bethléem, détail du décor peint.

Qui découvre le retable de Bethléem dans la chapelle d'axe de la cathédrale de Narbonne peut être surpris par cette œuvre restaurée, éclairée et mise en valeur et pourtant très lacunaire. Cependant, en s'approchant, le lien entre décor et architecture, la qualité de la sculpture et de sa polychromie expliquent le parti pris de maintenir cet ensemble à son emplacement d'origine et de ne pas dénaturer l'extrême qualité du travail médiéval. Cet état lacunaire témoigne aussi de l'histoire rocambolesque de cette œuvre majeure de l'art méridional.

La construction de la cathédrale de Narbonne commencée en 1272 fut interrompue avant le milieu du XIV^e siècle, pour rester inachevée et réduite à un chœur. La chapelle d'axe, paroissiale, fut achevée vers 1300. Elle fut ornée de grandes verrières et d'un décor peint grâce au mécénat de son fondateur, l'archevêque Gilles Aycelin. Vers 1360-1370, elle fut dotée d'un retable sculpté polychrome, à trois registres, où se trouvait employée une œuvre plus ancienne, représentant la Nativité, provenant de l'ancienne église : ce retable était certainement achevé lors de la consécration de la chapelle en 1381. En 1599, le retable fut restauré une première fois, suite peut-être à une altération de la sculpture et de la polychromie par les sels. Une deuxième intervention eut lieu vers 1732 après l'incendie de la cathédrale. C'est à cette date, ou peu de temps après, que le retable, qui n'était plus au goût du jour, fut détruit et recouvert par un décor classique à pilastres.

Bien que démolie et recouverte, l'œuvre médiévale se signala à un des grands architectes restaurateurs du XIX^e siècle, Viollet-le-Duc. Il aperçut en 1851 un fragment de sculpture représentant la gueule du Léviathan : il s'opposa à son transfert au musée et, en 1861, fit démolir la gloire en plâtre, ajourée, qui entourait la statue de Notre-Dame depuis le XVIII^e siècle.



Ce n'est qu'en 1954 puis en 1980 que de nouveaux éléments du retable furent découverts. Jean Pauc, conservateur des antiquités et objets d'art (CAOA), plaida pour la dépose du décor classique. On découvrit alors la composition et l'iconographie du retable, dont la partie centrale avait en grande partie disparu.

Narbonne (11), ancienne cathédrale Saint-Just : retable de la chapelle de Bethléem, détail du panneau des Rameaux.

Le retable habille trois des cinq pans de la chapelle en s'intégrant à la composition de l'architecture. Il est formé de trois parties distinctes : le soubassement composé de panneaux sculptés formant une frise continue représentant l'Enfer, le Purgatoire et les Limbes, lequel est surmonté d'une corniche, portant un décor architecturé ; des colonnettes hors œuvre portant des gâbles, surmontées de sculptures puis de dais. Le mur de fond est orné d'arcatures. Les scènes représentées sous chaque gâble relatent une partie de la vie du Christ. L'ensemble sculpté avec une grande finesse est recouvert d'une polychromie très sophistiquée.

Pour permettre la réalisation du décor du XIX^e siècle, les éléments saillants du décor ont été brisés et les fragments ont servi à redresser les parements. Une fois découverts, les vestiges se sont rapidement altérés du fait de la modification des conditions de leur conservation. Deux ans furent nécessaires à leur dépose après numérotation et aux premières tentatives



d'anastylose. Mais si le décor parut rapidement exceptionnel, sa restauration n'allait pas de soi. Fallait-il le conserver sur place ou le déposer ? Comment recomposer un tel puzzle ? Comment éliminer les sels altérant la pierre sans faire disparaître le décor peint ? Comment compenser la perte d'éléments de matière permettant la stabilité du décor ?

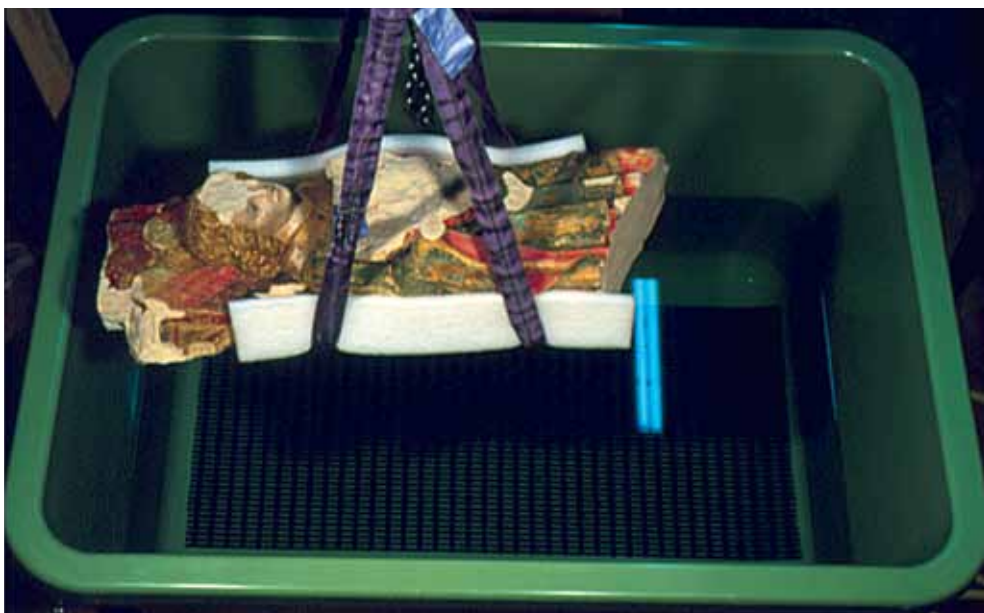
Narbonne (11), ancienne cathédrale Saint-Just : retable de la chapelle de Bethléem, détail du panneau de la Crucifixion.

Alors que les conditions techniques de la restauration restaient à préciser, les différents financeurs du projet étaient peu motivés pour l'engager. Un colloque, organisé en 1989 par la ville de Narbonne et la DRAC, permit de mettre en évidence l'intérêt extrême du décor et de convaincre de l'utilité de son sauvetage. Plusieurs études furent conduites de 1992 à 1997 pour préparer l'opération, afin de proposer une méthode pour recomposer le décor, identifier l'origine de la pierre, mieux comprendre ses altérations et mettre au point le dispositif de restauration et en particulier la désalinisation des blocs.

En 1997, les travaux sont lancés, à proximité de la cathédrale, le local mis à disposition est transformé en laboratoire pour permettre un travail dans une ambiance contrôlée en température et hygrométrie avec :

- pour la désalinisation, un déminéralisateur avec filtre et recyclage à régénération automatique, un système d'électrolyse, une série de bacs et pompes ;
- pour le nettoyage, des micro-sableuses ;
- pour le dégagement des surpeints, deux binoculaires à grossissement trente fois et du matériel de manutention.

Après les phases de conservation et protection habituelles de l'épiderme, une des tâches prioritaires des restaurateurs a été d'extraire les sels, source d'altération importante provoquant la perte de matière sous forme de pulvérulences, desquamations et surtout la disparition de la couche picturale.



Ci-dessus et page de droite :
Narbonne (11), ancienne cathédrale Saint-Just : retable de la chapelle de Bethléem, désalement des pierres par bain à électrolyse.

Deux méthodes ont été utilisées :

- la première, la plus employée, consiste en l'application d'une couche de pulpe de papier avec des argiles (sépiolite, attapulgite) imprégnées d'eau déminéralisée pendant plusieurs jours ce qui humidifie le support. Dans un premier temps, l'eau pénètre dans la pierre en dissolvant les sels solubles (nitrates / chlorures / sulfates) puis l'eau est « aspirée » vers la compresse, y entraînant les sels dissous. Cette opération a été renouvelée, en fonction des concentrations des sels encore présents dans la pierre, trois à quatre fois.

- la deuxième méthode (par électrolyse), plus innovante, a été dans un premier temps, l'objet d'une expérimentation afin de vérifier si sous l'influence d'un courant électrolytique (30 V en continu), la polychromie et plus particulièrement la dorure ne subissaient pas de modification.

Cette méthode consiste à immerger le bloc sculpté dans un bain d'eau déminéralisée ; entre deux électrodes, on crée un courant continu très faible et sous l'effet de champs électriques les ions des sels sont déplacés de l'objet à traiter vers les électrodes, puis on procède au filtrage de l'eau chargée de sels (chlorure de sodium, sulfate de sodium, nitrate de potassium). Des prélèvements sur la face arrière de la pierre à différentes profondeurs ont permis de confirmer l'élimination d'une grande partie des sels.



L'étape suivante consiste à consolider la pierre puis à refixer le décor. Les blocs sont ensuite fixés sur un support métallique assurant sa stabilité. Le travail de réintégration des lacunes n'intervient qu'en fin de restauration: il se limite à permettre la compréhension générale. L'ensemble bénéficie d'une mise en lumière adaptée et d'une mise en sécurité.

Cette restauration ne fut possible que grâce à la persévérance des différents acteurs de ce projet, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, laboratoires, historiens, restaurateurs... et à leur étroite collaboration.

(P. P.)

Pierre de substitution et compatibilité avec la pierre en œuvre



Valros (34), tour : détail du parement en pierre provenant de l'ancienne carrière Saint-Adrien, Servian (34).

Anduze (30), tour de l'horloge : mise en évidence des différents choix des pierres de substitution.

Dans certains cas, l'état d'altération de la pierre en œuvre est tel qu'il est nécessaire de procéder à des greffes ou à des remplacements de blocs ou de parties ornementées et sculptées. Cette opération nécessite bien sûr de s'assurer qu'il n'est pas possible d'appliquer des techniques conservatoires, surtout en ce qui concerne la sculpture. Il faut aussi, connaître la nature des matériaux en œuvre, et leur provenance géographique. Toute campagne de substitution devrait s'accompagner de l'élaboration d'une cartographie des types de pierre en œuvre. En effet certaines façades peuvent en comporter plus de dix. Ce polyolithisme peut être lié à des choix constructifs ou décoratifs originaux, basés sur une utilisation raisonnée des pierres en liaison avec leurs compétences techniques, mais c'est aussi souvent la conséquence de remaniements antérieurs, que les archéologues et historiens sont parfois heureux de redécouvrir au travers de l'analyse matérielle de l'œuvre. Une telle cartographie va donc permettre de mieux connaître le bâtiment et ses phases de construction, et ainsi d'effectuer des choix judicieux de pierre de remplacement.

Cela va permettre aussi, grâce à l'analyse d'archives ainsi qu'à l'œil averti des géologues et à leurs connaissances des ressources locales, ou parfois lointaines, de déterminer les provenances des pierres en œuvre.

Tant que possible, la pierre utilisée en remplacement devra provenir des carrières d'origine. Malheureusement très peu de carrières de pierre de taille sont encore en activité en France. A titre d'exemple, le *Répertoire des carrières de pierre de taille exploitées en 1889* cite quarante-sept exploitations pour le département du Gard (ce qui n'était certainement pas exhaustif). A l'heure actuelle ce département ne compte plus qu'une vingtaine de carrières exploitées pour le patrimoine bâti.





Fozières (34), chapelle : vue du parement avec différentes pierres de remontage.

Il faut savoir que depuis 2006 une loi (décret du 31 mai 2006 – rubrique 2510-6) permet l'exploitation sans autorisation (régime déclaratif soumis à contrôle) de faibles quantités de matière destinées à la restauration du patrimoine bâti « dont l'intérêt patrimonial ou architectural justifie que celle-ci soit effectuée avec leurs matériaux d'origine » (voir arrêté 26/12/06 du relatif aux prescriptions générales applicables aux exploitations de carrières soumises à déclaration sous la rubrique n° 2510 de la nomenclature des installations classées, publié au JO n° 21 du 25 janvier 2007). Dans la plupart des cas, les carrières d'origine sont non seulement fermées, mais elles n'existent plus du tout, et alors il faut faire appel à d'autres sources. Le choix de la pierre de substitution se basera en priorité sur la composition minéralogique et l'aspect esthétique : couleur, nature et taille des grains, présence de coquilles... Ces considérations esthétiques devront être complétées par une étude des caractéristiques pétrophysiques de la pierre en œuvre : porosité totale, capillarité, résistance mécanique, propagation de la vitesse du son... La connaissance de ces dernières guidera le choix de la pierre de remplacement qui devra avoir des caractéristiques comparables, de manière à être compatible.



Calce (66), ancienne carrière de Las Fons : calcaire et dolomies vacuolaires brun-jaunâtre.

En effet, lorsque l'on introduit dans un parement une pierre qui a des propriétés physiques différentes des pierres d'origine, il s'ensuit généralement des dégradations qui affecteront soit la pierre de remplacement, soit la pierre d'origine restant en place (ce qui, à terme, nuit à l'authenticité de l'édifice). Une pierre trop dure pourra générer des poinçonnements et créer une barrière aux transferts des fluides qui se produisent naturellement dans les parements... Donc les propriétés physiques qui sont en jeu dans la substitution sont d'une part d'ordre mécanique : densité, résistance en compression, dureté, etc., et concernent d'autre part les capacités de stockage et transfert de l'eau : porosité totale, capillarité... Il faudra, bien sûr, utiliser pour ces substitutions, des mortiers adaptés, assez poreux, peu ou non hydrauliques, non générateurs de sels solubles.
(L. L.)

La mémorisation de l'intervention



Collioure (66), fort carré : détail d'une ouverture de tir en calcaire blanchâtre à grain fin.

Travaux d'entretien et nécessité de documenter

La réalisation de travaux d'entretien réguliers sur l'édifice est probablement la solution la plus économique et la plus légère pour assurer une bonne conservation de l'édifice. La documentation de chacune de ces interventions optimise le suivi sanitaire de l'édifice.

Nature de la documentation

Cette phase d'enregistrement des données acquises à l'occasion du chantier constitue une phase majeure de l'opération. L'ensemble des informations liées aux découvertes archéologiques mais aussi les renseignements récapitulant les choix et les prescriptions opérés lors des travaux vont figurer dans ce document : protocole de restauration retenu, éléments de joints ou d'enduit conservés, nature et localisation des pierres consolidées, remplacées. Ces informations sont collectées, puis visées par le maître d'œuvre pour former le dossier documentaire des ouvrages exécutés (DDOE).

Parfaitement documenté, l'information se révèle souvent précieuse lors de l'opération suivante.

Attechements

Ce travail est, en partie, réalisé par les entreprises titulaires des marchés de travaux qui ont à leur charge la réalisation de plans appelés attechements graphiques, utiles à la justification des prestations facturées, mais aussi à la mémorisation des ouvrages.

La qualité des attechements établis par un appareilleur (salaire de l'entreprise de restauration) reflète la grande technicité des compagnons appelés à intervenir sur les chantiers de pierre de taille.

(T. D.)

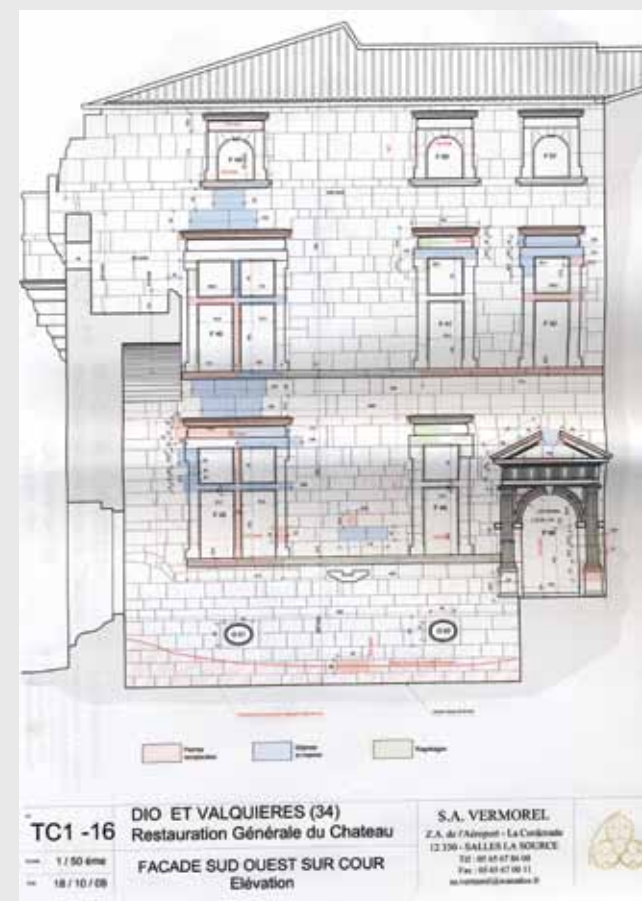
L'appareilleur

Une entreprise de restauration de pierre de taille se distingue en premier lieu par la technicité de son appareilleur.

L'appareilleur doit connaître la pierre et ses fragilités, il doit être apte à discerner les éléments affaiblis de ceux qui assurent encore la parfaite conservation de l'ouvrage. Il doit connaître l'histoire de l'art, maîtriser la stéréo-

tomie, réaliser des calepins d'appareils, des épures et des gabarits.

L'appareilleur intervient du début à la fin du chantier, depuis les choix proposés par le maître d'œuvre jusqu'à la remise du rapport d'intervention. Il est, de fait, indispensable au fonctionnement d'un chantier de pierre de taille.



Dio-et-Valquières (34), château, façade est sur cour. Attechement graphique de l'entreprise Vermorel localisant les ouvrages réalisés.

PierreSud, outil de connaissance sur les pierres et carrières du patrimoine bâti de Languedoc-Roussillon



Valros (34), tour : pierre de taille recouverte de lichens de l'ancienne carrière Saint-Adrien, Servian (34).

Le patrimoine bâti du Languedoc-Roussillon témoigne d'une très riche histoire dont les abbayes médiévales des Pyrénées-Orientales, les fortifications de Vauban, les châteaux de l'Aude, le pont du Gard et les nombreux monuments antiques de Nîmes, les cités épiscopales de Maguelonne et Elne ou bien encore les basiliques paléochrétiennes de Montferriand sont quelques emblèmes. La pierre y est omniprésente, de couleurs et patines variées et de caractéristiques géologiques diverses, extraites d'anciennes carrières généralement locales voire régionales ou importées du pourtour méditerranéen (cas de certains marbres). Les données sur les pierres mises en œuvre sur les monuments et leurs carrières d'origine sont malheureusement parcellaires, dispersées et difficilement accessibles. La connaissance de la pierre demeure pourtant indispensable à l'étude et à la préservation du patrimoine bâti régional.

Déplorant ce constat, la direction régionale des affaires culturelles (DRAC) du Languedoc-Roussillon a initié courant 2006 dans le cadre de sa mission de préservation des monuments protégés, une réflexion autour des problématiques de connaissance, conservation et restauration de la pierre. Elle a logiquement sollicité le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), organisme public de recherche en géosciences, lequel gère depuis la fin des années 1990, le site internet MONUMAT (monumat.brgm.fr) accueillant la « base de données nationales sur les pierres et carrières des monuments historiques de la France métropolitaine et de la Réunion », en collaboration avec le ministère de la Culture et de la Communication. En 2004, à la demande de la DRAC Centre, le BRGM a également développé un outil de consultation cartographique des données disponibles sur les pierres des monuments de la région Centre et leurs carrières d'origine.



Dans la perspective d'un projet collaboratif baptisé « PierreSud », la DRAC et le BRGM ont pu compter sur l'appui scientifique et technique d'organismes publics référents dans le domaine de la conservation du patrimoine, tels que le Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH), service à compétence nationale dépendant du ministère de la Culture et basé à l'est de Paris, et le Centre interrégional de conservation et de restauration du patrimoine (CICRP), groupement d'intérêt public culturel basé à Marseille. Dans le même temps, des enseignant-chercheurs de l'Université de Montpellier sont venus enrichir de leurs connaissances scientifiques sur la géologie et des pierres régionales, le comité de pilotage du projet PierreSud. D'autres structures

Colombière-sur-Orb (34) : extrait de la carte géologique éditée par le BRGM présentant les différentes roches.

publiques telles que les Services territoriaux de l'architecture et du patrimoine (STAP), ou associatives telles que le Groupement français des entreprises de restauration de monuments historiques (GMH), ainsi que diverses personnes expertes des roches ornementales ont été sollicitées afin de participer aux réunions de travail.

L'implication dans PierreSud des différents acteurs précités a permis durant la période 2008-2010, et grâce au soutien du Fond européen de développement régional (FEDER), d'inventorier et compiler les informations disponibles sur les pierres de construction et pierres décoratives régionales et sur leurs carrières d'origine, ainsi que sur leurs références d'utilisation dans les monuments historiques de la région Languedoc-Roussillon. Les données ainsi obtenues ont été structurées dans un système d'information géographique associé à une base de données relationnelle. Elles sont accessibles depuis décembre 2010 sur un site internet public développé spécifiquement et hébergé par le BRGM (pierresud.brgm.fr) dont les fonctionnalités sont :

- la consultation d'une cartographie interactive, basée sur divers critères de recherche à sélectionner par l'utilisateur ;
- l'édition (et l'impression) de rapports communaux sur les pierres, les carrières et les monuments ;
- le téléchargement d'atlas départementaux des pierres et carrières (au format PDF) ;
- la consultation d'une lithothèque virtuelle permettant l'édition (et l'impression) de fiches de synthèse sur des échantillons de pierres du patrimoine bâti régional ;
- le téléchargement de guides techniques sur les altérations, les méthodes de conservation et les problématiques de compatibilité des pierres, élaborés spécifiquement dans le cadre du projet.

Destiné en premier lieu aux scientifiques (conservateurs, géologues, archéologues, chercheurs, etc.) et aux professionnels (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, architectes, restaurateurs, carriers, laboratoires...), ce site s'adresse aussi à un public plus large (enseignants et étudiants du secondaire et de l'enseignement supérieur, associations, sociétés savantes, etc.) souhaitant accéder facilement à des données sur les pierres du patrimoine de la région Languedoc-Roussillon.

A la fin 2010, la base de données relative à PierreSud recensait 611 pierres provenant de 1 109 carrières pour la plupart abandonnées. Parmi les 2000 monuments protégés de la région, seuls 248 disposaient d'informations sur leurs pierres constitutives. La lithothèque virtuelle comportait 336 échantillons de pierres. Enfin, 1 186 illustrations photographiques étaient accessibles.

Afin de continuer à alimenter la base de données de PierreSud, et plus globalement de poursuivre l'amélioration des connaissances sur les pierres, carrières et monuments du Languedoc-Roussillon, des projets d'acquisition de données (à diverses échelles : département, ville) ont été initiés, associant une partie des partenaires cités précédemment.

A noter qu'en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, un projet collaboratif assez comparable à PierreSud et baptisé Pierre-PACA, est en cours, sous la direction de la DRAC, du BRGM et du CICRP. A son achèvement prévu fin 2012, il est raisonnable d'envisager la fusion des deux bases de données régionales, afin de disposer à terme d'un accès simplifié unique aux données disponibles sur les pierres et carrières du patrimoine du sud de la France.

(D. D.)

Pages suivantes :
Villeneuve-les-Maguelone (34), ancienne cathédrale Saint-Pierre : détail pierre de taille en calcaire coquillier en cours de désagrégation.



Glossaire

Alvéolines (calcaires à) : microorganismes marins de la famille des foraminifères (organismes unicellulaires) dont les tests accumulés ont formé d'importantes assises calcaires à l'ère tertiaire.

Bactéries hétérotrophes : bactéries qui se nourrissent de substances organiques.

Dilatation thermique anisotrope : déformation différentielle de la calcite suivant les trois dimensions de l'espace sous l'effet d'une élévation de température et provoquant des microfissurations.

Format dwg : extension utilisée pour des fichiers informatiques que sont les logiciels de dessin assistés par ordinateur (DAO) et qui permet l'usage de calques dont l'affichage est géré par l'utilisateur.

Gitologie : discipline particulière de la géologie spécialisée sur l'étude des carrières (gisements).

Bibliographie

Bousquet (J.-C.), *Géologie du Languedoc-Roussillon*, Presses du Languedoc, 142 pages

Cartes géologiques de la région au 1/250 000^e et 1/50 000^e et notices, BRGM

Bigas (J.-P.), Brombet (Ph.), Martinet (G.), Gaudon (P.) et al., Pierre et patrimoine, connaissance et conservation, (2009) Actes Sud/Cefracor, Arles, 214 p.

La conservation de la pierre monumentale en France, coordonné par Jacques Philippon, Daniel Jeannette et Roger-Alexandre Lefevre, Presses du CNRS et Ministère de la culture et de la communication, Paris, 1992.

Glossaire des altérations de la pierre ICOMOS :
<http://www.international.icomos.org>

Ouvrage publié par la Direction
régionale des affaires culturelles
(DRAC) du Languedoc-Roussillon
Conservation régionale des
monuments historiques (CRMH)
5, rue de la Salle l'Evêque
cs 49020
34967 Montpellier Cedex 2
Tél. 04 67 02 32 00 / Fax 04 67 02 32 04

Directeur de la publication
Didier Deschamps, directeur régional
des affaires culturelles

Rédacteur en chef
Delphine Christophe, conservateur
régional des monuments historiques

Coordination éditoriale
Jackie Estimbre, chargée de la
valorisation du patrimoine, CRMH

Chargée de la diffusion
Sylvie Philippo
sylvie.philippo@culture.gouv.fr
Tél. 04 67 02 32 61

Conception graphique et réalisation
Charlotte Devanz

Photogravure et impression
Pure impression, Mauguio (34)

Achévé d'imprimer
Juin 2012

Dépôt légal
Juin 2012

ISBN n° 978-2-11-129555-1

Crédits photographiques

Henri de la Boisse : p. 17, 18, 19, 20, 21, 22 et 23
Philippe Bromblet : p. 5, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32,
33, 34, 35, 43 et 45
Thierry Dubessy : couverture, p. 6, 42, 44, 46, 48 et 52
Pierre Parcé : p. 36, 37 et 38
Société SOCRA : p. 36, 40 et 41
Gabriel Vignard : p. 11, 12 et 13

Crédits graphiques

Henri de la Boisse : p. 10
Dominique Larpin : p. 8 et 10
LERM : p. 15
Jean-Louis Rebières : p. 14
Entreprise VERMOREL : p. 47

Crédits cartographiques

Henri de la Boisse : p. 16
BRGM : p. 49



monuments duo objets

Créée par la direction régionale des affaires culturelles du Languedoc-Roussillon (conservation régionale des monuments historiques), la collection « Duo » propose au public de découvrir des chantiers de restauration du patrimoine monumental et mobilier, des édifices labellisés « Patrimoine du XX^e siècle » ou encore des immeubles et objets d'art protégés au titre des monuments historiques, dans l'ensemble de la région.

Les monuments historiques et la pierre

Malgré sa résistance naturelle, la pierre peut subir de nombreuses altérations liées à sa nature ou à son environnement. Le Languedoc-Roussillon présente une large variété de pierres avec chacune leurs spécificités, leurs faiblesses, leurs pathologies.

La nécessité de conserver un monument, en particulier lorsqu'il s'agit d'un édifice protégé au titre des monuments historiques, implique une parfaite compréhension de ce dernier. La direction régionale des affaires culturelles (DRAC), le centre interrégional de conservation et de restauration du patrimoine (CICRP), le laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH), l'université de Montpellier II et le bureau de recherche géologique et minière (BRGM) vous proposent de découvrir leur méthode d'intervention basée sur la connaissance de l'histoire du monument et des matériaux.

Cet ouvrage est destiné à tous ceux qui sont soucieux d'assurer la conservation des édifices dont ils sont propriétaires. Il s'agit de sensibiliser le lecteur aux problèmes de conservation et aux techniques de consolidation reconnues et éprouvées actuellement afin de lui permettre de réfléchir au programme d'intervention le plus pertinent.



Direction régionale des affaires culturelles du Languedoc-Roussillon (DRAC-L.-R.)
Diffusion gratuite - Ne peut être vendu
ISBN : 978-2-11-129555-1