

Le trait retrouvé

Des tracés sur les murs confirment que les constructeurs gothiques utilisaient des méthodes exposées dans le manuscrit de Villard de Honnecourt.

Villard de Honnecourt a laissé à la postérité un carnet de 66 pages, datant du XIII^e siècle, document unique sur les techniques des constructeurs du Moyen Âge. Près d'une vingtaine d'édifices religieux, dont la très belle collégiale de Saint-Quentin, située, comme Honnecourt, dans le Vermandois, ont été attribués à Villard, mais sans qu'il existe aucune preuve.

L'architecte Pierre Bénard, en 1864, Robert Branner vers 1970, et François Bucher, plus tard, relevèrent des tracés gravés sur les murs de certaines chapelles, notamment une rose, ressemblant à la principale rose de Chartres, dont je fis en 1989 un relevé exact, et le plan d'un pilier, qui rappelaient des dessins du fameux manuscrit. En 1995, la médiéviste Ellen Shortell me signala l'existence, au pied d'une paroi sur laquelle elle releva des tracés d'arcs gravés dans la pierre, d'une petite spirale (figure g) identique à celle représentée, à côté d'une clef d'arc, sur un croquis de Villard (figure b). M'étant rendu sur place pour relever cette gravure, j'examinai, de plus près, les murs d'autres chapelles. Dans la première chapelle Sud, ayant dégagé l'étroit espace situé derrière l'autel des objets au rebut qui l'encombraient, je sentis, en caressant la pierre, des incisions continues.

La surface ayant été débarrassée délicatement – à l'aide d'un blaireau – des efflorescences de salpêtre qui la couvraient, un ensemble de tracés apparut, présentant trois arcs concentriques, le plus grand ayant un rayon de 129 centimètres. Un autre arc, de même rayon que le grand arc, et symétrique, formait avec celui-ci un arc brisé dont le sommet et les naissances étaient disposés selon un triangle équilatéral, proportion harmonieuse, fréquente dans l'architecture gothique du XIII^e siècle. Avec l'aide de Bernard Delaire, de la Société académique de Saint-Quentin, je fis, après avoir suivi les incisions avec la pointe d'un fusain tendre, un relevé en vraie grandeur (figure j). Des joints horizontaux et verticaux refaits interrompent, par endroits, la continuité des traits incisés. Sur une trentaine de centimètres à droite, deux arcs distants de quatre millimètres témoignent d'une correction.

Mais le plus remarquable était sur la droite, au bas du panneau (photographie i et figure j) une série de huit traits rapprochés, normaux aux trois arcs de cercle et convergeant vers leur centre commun. J'avais là, sous les yeux, l'application d'un procédé exposé dans le manuscrit de Villard (figure d) qui figure entre deux faces convergentes d'un vousoir, deux échelles parallèles portent un même nombre de divisions égales. Le commentaire est «par chu tail on vosoires par escandelons», c'est-à-dire «ainsi, on taille les vousoirs par échelons». En joignant par des droites les divisions correspondantes de chaque échelle, le maçon traçait des convergentes, permettant de tailler des vousoirs d'épaisseurs différentes, selon les besoins. Ce système évite la recherche du centre de la courbe, parfois inaccessible.

PRATIQUE DES CROQUIS

Ainsi sur les parois d'une église, nous voyons en application plusieurs croquis techniques du manuscrit. À une époque où n'existaient ni support pratique et économique pour les plans ni moyen de les reproduire, le plus pratique était d'afficher, de façon indélébile, sur les murs, les modèles que les compagnons devaient exécuter. C'est ce qu'explique un des croquis de Villard où une sorte de socle ou de fondation montre qu'il s'agit d'une paroi verticale (figure e) ; sur ce croquis, le tracé de plusieurs arcs, comme à Saint-Quentin, est expliqué par la légende : «par chu tail om le mole don grant arc dedens III» (c'est-à-dire «Ainsi on taille le modèle d'un grand arc, (avec) trois (autres) dedans») ; il est précisé ensuite : «pies de tere», que je pense être une erreur de transcription pour «près de terre», indiquant que ces tracés se faisaient au sol, sur une paroi verticale, et non sur une aire horizontale, d'utilisation peu pratique dans l'encombrement du chantier.

L'autre confirmation que nous trouvons, à Saint-Quentin, des usages évoqués par Villard, c'est la spirale, méthode pour tracer des arcs brisés de même courbure, permettant la standardisation des cintres et des vousoirs d'une même

travée (figure f), ou de toute une série d'arcs dans un bâtiment (l'utilisation des spirales est confirmée par la série de spirales superposées, gravées sur une pierre retrouvée à Chartres).

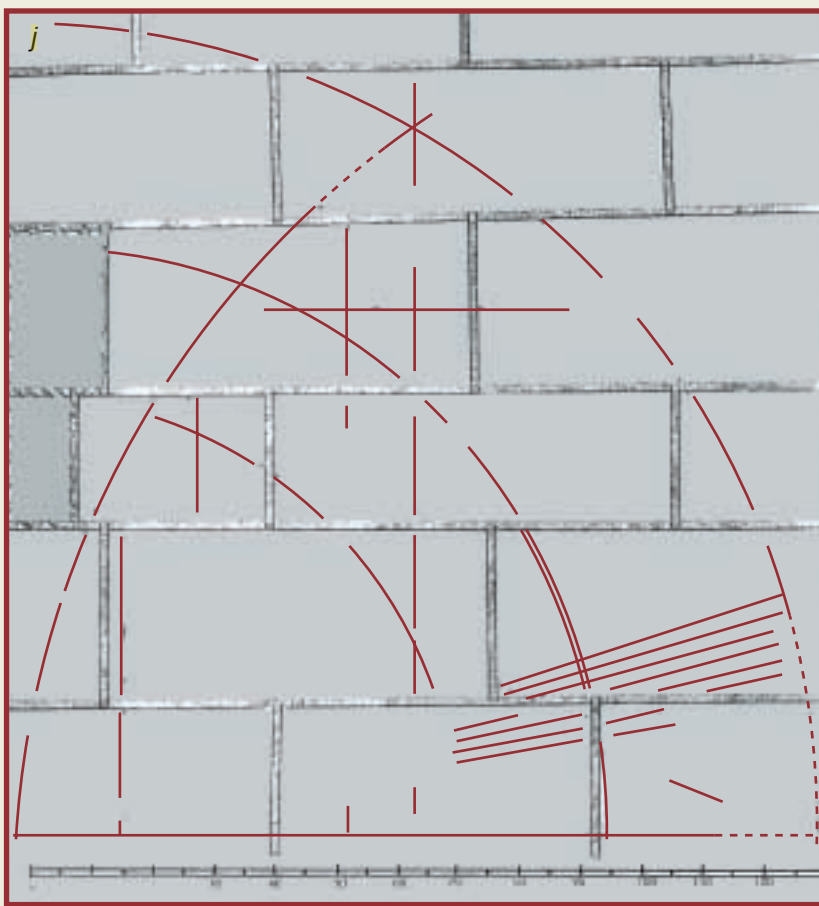
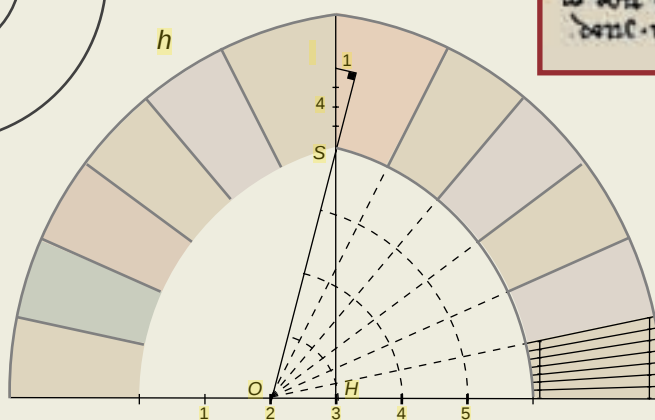
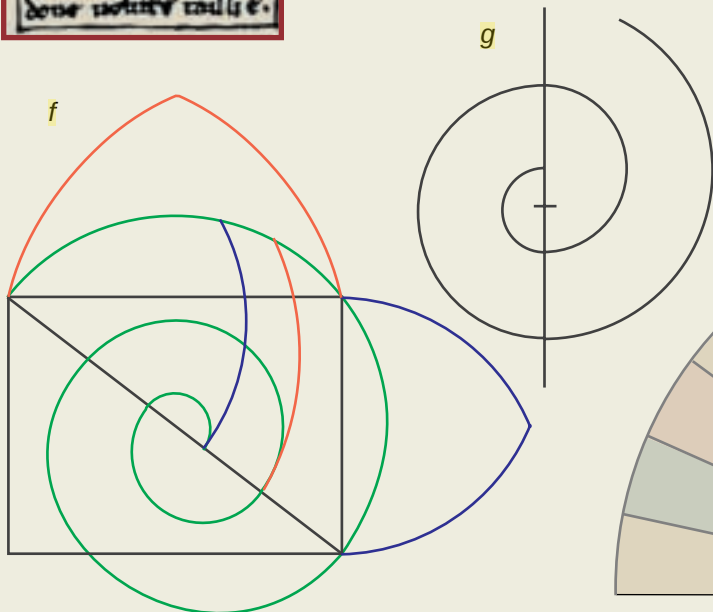
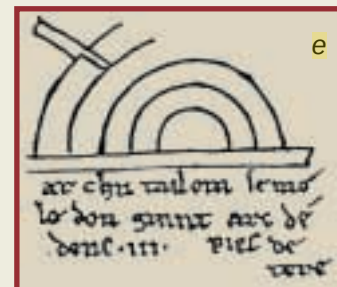
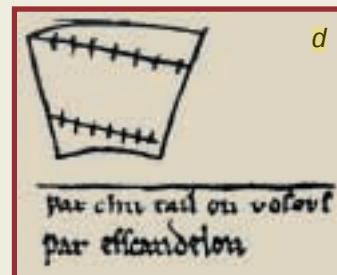
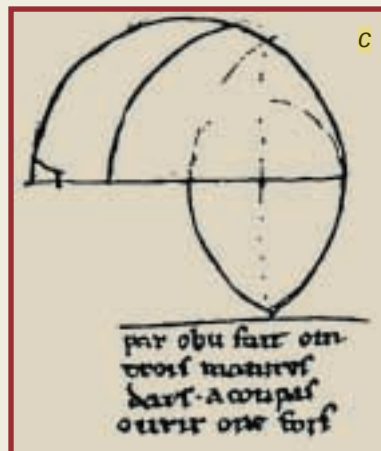
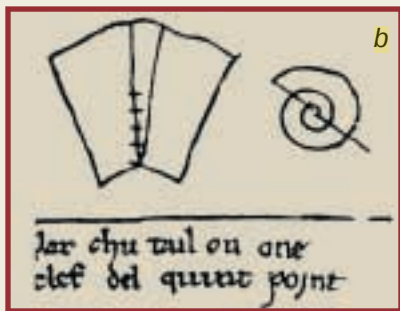
Le souci de standardisation des courbes des constructeurs est marqué par le croquis, maintes fois reproduit, du manuscrit de Villard, montrant trois arcs tracés avec la même ouverture de compas (figure c).

La troisième confirmation, et la plus intéressante, c'est l'emploi du procédé des «escandelons» pour tracer les vousoirs (figure h). En ce qui concerne les vousoirs de clef qui, pour les arcs brisés, doivent être taillés à la demande, Villard nous indique (figure b) comment faire, en reportant l'angle qui correspond à la proportion de l'arc choisi sur le vousoir standard, sans qu'il soit besoin de rechercher le centre de la courbe, comme le montre un croquis de Villard (figure a), ce qui est souvent impossible sur la paroi de traçage dont la surface est limitée. Cet angle est défini par le rapport entre le rayon de l'arc et la distance entre le centre d'un des deux arcs qui forment l'arc brisé et l'axe de celui-ci (figure b). Est figurée ici une clef de «quint point», comme sur le croquis de Villard (figure c). Le rayon de l'arc est l'hypoténuse OS d'un triangle rectangle OSH dont le petit côté est la distance séparant l'axe du centre de l'arc brisé. La connaissance de ce rapport suffit pour tailler les deux demi-clefs.

Ainsi les parois de ces chapelles présentent des exemples de plusieurs procédés exposés dans le manuscrit de Villard, la spirale figurant, comme sur celui-ci, un discret rappel de méthode, au bas de tracés d'exécution. C'est la confirmation de procédés simples et pratiques employés à cette époque, par des constructeurs qui, par ailleurs, comme le montrent d'autres dessins du manuscrit (voir Dossier «Arts et sciences au Moyen Âge», *Pour la Science*, et «Villard de Honnecourt, la pensée technique au XIII^e siècle», *Picard éditeur*.) maîtrisaient dans des cas plus complexes, la stéréotomie, le «Trait».

Que ces gravures relevées sur les murs soient anciennes est plausible, car qui se donnerait la peine de faire aussi soigneusement et précisément de telles épreuves, si ce n'était pour faire exécuter ces éléments ? Cependant, que ces procédés correspondent à ceux décrits dans le manuscrit de Villard ne signifie pas que celui-ci les ait, personnellement, tracés, ni qu'ils lui soient exactement contemporains. L'essentiel est d'y voir confirmer des méthodes des constructeurs du Moyen Âge, indiquées dans le manuscrit de Villard de Honnecourt.

Roland BECHMANN



Gènes anciens

De l'ADN végétal conservé dans la diatomite depuis huit millions d'années.

Pour retracer l'histoire de la vie et de l'évolution, les biologistes comparent les espèces animales et végétales fossiles avec les espèces actuelles. Depuis quelques années, l'étude de l'ADN, support du patrimoine génétique, a complété des comparaisons morphologiques : de l'ADN fossile a été extrait d'insectes de 130 millions d'années conservés dans de l'ambre jaune, et d'une feuille de magnolia de 17 millions d'années retrouvée dans l'argile de Clarkia, aux États-Unis. Nous avons découvert un nouveau milieu qui préserve l'ADN pendant plusieurs millions d'années : la diatomite.

En Ardèche, il y a environ huit millions d'années, des dépôts sédimentaires de diatomite se sont formés dans des lacs de cratères volcaniques du massif du Coiron. Ces dépôts sont constitués des squelettes siliceux d'algues microscopiques,

les diatomées. La silice est un milieu stérile, antiseptique et acide, comparable à celui des tourbières : les couches de diatomite ont préservé des organismes fossiles, végétaux et animaux, sous forme de momies naturelles. Les tissus mous (peau, poils, viscères) et même la couleur des insectes ont été conservés.

À partir de feuilles momifiées, nous avons extrait de l'ADN de chloroplastes, les organites des végétaux contenant la chlorophylle. Par la méthode d'amplification des gènes, nous avons multiplié les fragments d'ADN qui correspondent à un gène nommé *rbcl*. Les séquences de nucléotides (les éléments de base de l'ADN) de ce gène, pour les plantes actuelles, sont répertoriées dans des bases de données qui permettent de réaliser des comparaisons avec les gènes que nous amplifions.

De l'ADN extrait et multiplié à partir d'une feuille de châtaignier a donné une séquence qui correspond au gène *rbcl* de l'actuel châtaignier *Castanea sativa*, avec 99,6 pour cent de similarité. Les séquences amplifiées à partir d'échantillons prélevés sur des feuilles fossiles d'autres espèces ne correspondent pas à ces espèces.

D'OÙ VIENT VRAIMENT L'ADN

Ces différences sont-elles réelles ? D'autres travaux d'extraction d'ADN très ancien ont fait l'objet de controverses : l'amplification des gènes est sensible à la contamination par des matières organiques actuelles, et l'ADN multiplié par cette technique n'est pas toujours de l'ADN fossile. Si un gène amplifié à

partir d'un fossile a une très grande similarité avec son analogue actuel, c'est que l'espèce a peu évolué (c'est vrai pour les végétaux depuis huit millions d'années)... ou que l'échantillon a été contaminé.

Nous avons toutefois écarté l'hypothèse d'une contamination, sur le site ou en laboratoire : parmi les séquences génétiques obtenues, l'une correspond à la ravenelle, une plante de milieu subtropical qui pousse aujourd'hui à Madagascar. Il est peu probable que des spécimens subsistent en Ardèche.

En outre, nous avons amplifié sélectivement le gène *rbcl* des diatomées, dont le squelette compose le sédiment fossilifère, et nous avons obtenu deux séquences, l'une proche de celle de la diatomée *Cylindrotheca* et l'autre de l'algue *Pylaiella*. La contamination par des diatomées modernes est très improbable : les diatomées ont besoin, pour se développer, de lumière et d'humidité, conditions qui ne sont pas réunies dans le sédiment ni au laboratoire. L'ADN que nous avons amplifié semble bien vieux de huit millions d'années.

Nous avons ensuite appliqué la méthode d'amplification des gènes à des échantillons de diatomite qui ne contenaient pas de fossiles, en recherchant le gène *rbcl* d'espèces d'arbres. Nous avons effectivement obtenu des fragments du gène *rbcl* d'arbres, dont une séquence similaire au cèdre, à 99,8 pour cent. L'ADN fossile ne provient pas toujours des feuilles fossiles, mais aussi de la diatomite, prélevée involontairement avec les échantillons. Lors de la formation du dépôt, l'ADN aurait formé avec la silice, qui constitue les squelettes des diatomées, un complexe chimique qui aurait empêché sa dégradation par l'oxygène ou par l'eau.

Outre des feuilles d'arbre, la diatomite du massif du Coiron contient de nombreux fossiles d'animaux d'espèces aujourd'hui éteintes. Il est aujourd'hui possible d'y rechercher de l'ADN et de mieux comprendre leurs relations avec les espèces actuelles.

Bernard RIOU, Musée paléontologique de La Voulte-sur-Rhône
Jean-François MANEN, Conservatoire et Jardin botaniques de Genève



De l'ADN a été extrait d'une feuille de châtaignier fossile de huit millions d'années, conservée dans de la diatomite, dans le massif du Coiron, en Ardèche (en bas). Jusqu'à présent, seuls des insectes

conservés dans de l'ambre jaune (en haut) et des feuilles de magnolia (au milieu) fossilisées dans des argiles ont fourni des séquences génétiques plus anciennes.

Striga et lutte biologique

Des insectes et des champignons contrecarrent la prolifération d'une plante parasite africaine.

Pour lutter contre les fléaux africains, comme les criquets, les moustiques ou les plantes parasites, la lutte biologique est la plus satisfaisante du point de vue écologique. Des chercheurs français et canadiens ont montré, en laboratoire, l'efficacité et la spécificité de deux agents biologiques contre le *Striga*, une plante parasite des cultures locales. Le *Fusarium oxysporum* est un champignon qui empêche la germination des graines et le développement de la plante, tandis que le *Smicronyx* est un coléoptère qui prévient la prolifération du *Striga* en se nourrissant de ses graines directement dans le fruit.

Parasite africain des cultures vivrières (sorgho, mil, maïs...) connu depuis des siècles, le *Striga* est un fléau depuis une vingtaine d'années : les sécheresses prolongées ont fragilisé les céréales qui ont plus de mal à lutter contre le parasite. On connaît une quarantaine d'espèces de *Striga* parmi lesquelles le *Striga hermonthica* est le plus virulent. Dans les pays africains où l'agriculture est encore extensive (comme le Sahel), ce parasite menace les populations de famine. Ne pouvant voir les graines microscopiques, les paysans africains pensent que le *Striga* est un envoyé des dieux, et le laissent se ressemer sur place ; aussi la prolifération est-elle explosive, chaque plant produisant entre 10 000 et 50 000 graines.

Malgré d'importantes recherches, l'éradication totale du parasite semble utopique. Il est donc nécessaire de diminuer efficacement le taux d'infestation des champs cultivés en tirant profit de multiples axes de lutte : changement des habitudes culturelles au travers de l'éducation des populations locales, lutte physique, chimique et biologique.

La sélection de variétés de céréales résistantes au *Striga* est prometteuse en théorie mais, sur le terrain, la variabilité génétique du parasite est telle que la résistance n'est pas stable. Parmi les autres méthodes testées, certaines

ne réduisent pas suffisamment le taux d'infestation des champs (germinations suicides, faux hôtes), d'autres sont trop onéreuses pour être utilisables en Afrique. Par exemple, la méthode de la «solarisation», qui consiste à recouvrir le sol d'un film de plastique durant la période la plus chaude de l'année, tue les graines en chauffant le sol par effet de serre. Cette technique, très efficace puisqu'elle débarrasse également le sol d'autres mauvaises herbes, n'est envisageable que sur des parcelles expérimentales. Pour supprimer les graines, l'utilisation d'ennemis naturels paraît plus prometteuse.



Plant de *Striga hermonthica* avec deux fruits. En bas, un fruit sain et, en haut, un fruit qui a développé une galle. Le *Striga* produit cette excroissance sous l'influence de *Smicronyx*, de petits coléoptères qui se nourrissent des graines du fruit.

Après inventaire des ennemis naturels du *Striga*, l'insecte le plus efficace est le *Smicronyx*, un petit coléoptère fréquemment observé en Afrique. Quelle est l'efficacité de cet insecte ? Josiane Paré et Isabelle Pronier, de l'Université Jules Verne de Picardie (Amiens), ont répondu en partie à cette question en montrant que dans une capsule de

Striga colonisée par le *Smicronyx*, moins de dix pour cent des graines subsistaient : l'insecte se nourrit des graines encore jeunes. Le *Smicronyx* avait été introduit en Éthiopie en 1978, mais en 1988, alors que l'on pensait qu'il s'y était établi, il avait totalement disparu. Les résultats obtenus inciteront les chercheurs à le réintroduire et à favoriser sa prolifération.

LE CHAMPIGNON TUEUR ET LE PARASITE

Le *Fusarium oxysporum* est un champignon présent en Afrique de l'Ouest. Depuis sa découverte sur des plants de *Striga* en 1977, des recherches ont été menées pour étudier son pouvoir destructeur notamment par M. Ciotola et ses collègues, de l'Université McGill au Québec.

Les expériences ont porté sur 205 souches de champignon prélevées sur des plants de *Striga hermonthica* malades au Burkina, au Nigeria et au Mali. On étudie l'effet du *Fusarium* sur la croissance de la plante parasite et on s'assure que le champignon parasite n'a pas d'effets néfastes sur différentes céréales, et enfin, on précise sa viabilité et sa toxicité.

Les expériences ont montré que l'une des souches de *Fusarium oxysporum* réduisait considérablement la croissance du *Striga hermonthica*. Dans un pot, sur un substrat de paille de sorgho inoculé avec le champignon, des graines de sorgho ainsi que des graines de *Striga* ont été disposées. Une proportion importante (64 pour cent) des graines de *Striga* qui germaient et avaient commencé à parasiter le sorgho était détruite par le *Fusarium*. De plus, sur d'autres céréales et légumineuses courantes en Afrique (millet, maïs, arachide, niébé) inocuées avec du *Fusarium*, aucun effet retardateur ni aucune évolution de la maladie n'ont été observés. Finalement, après une période de 18 mois, le champignon survivait dans toutes les cultures.

Pour s'assurer que ces expériences en laboratoire reflètent l'activité du champignon dans les conditions naturelles, l'équipe canadienne va introduire le *Fusarium* en Afrique, après avoir vérifié que d'autres cultures comme le riz et la patate douce n'en souffrent pas. Avant d'avoir des résultats précis quant à l'efficacité de ces méthodes sur le terrain, il faudra attendre quelques années. Longue attente... Toutefois, si ces deux méthodes sont efficaces, elles pourraient convaincre une opinion déçue des résultats des expériences passées de lutte biologique. □