

Le ciment le plus durable

<https://www.washingtonpost.com/news/speaking-of-science/wp/2017/07/04/ancient-romans-made-worlds-most-durable-concrete-we-might-use-it-to-stop-rising-seas/>

Ancient Romans made world's 'most durable' concrete. We might use it to stop rising seas.

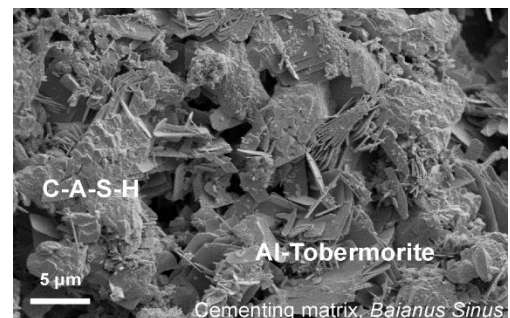
Ben Guarino

Two thousand years ago, Roman builders constructed vast sea walls and harbor piers. The concrete they used outlasted the empire — and still holds lessons for modern engineers, scientists say. A bunch of half-sunken structures off the Italian coast might sound less impressive than a gladiatorial colosseum. But underwater, the marvel is in the material. The harbor concrete, a mixture of volcanic ash and quicklime, has withstood the sea for two millennia and counting. What's more, it is stronger than when it was first mixed. The Roman stuff is “an extraordinarily rich material in terms of scientific possibility,” said Philip Brune, a research scientist at DuPont Pioneer who has studied the engineering properties of Roman monuments. “It's the most durable building material in human history, and I say that as an engineer not prone to hyperbole.” By contrast, modern concrete exposed to saltwater corrodes within decades. The mystery has been why the ancient material endured. “Archaeologists will say they have the recipe,” said Marie Jackson, an expert in ancient Roman concrete at the University of Utah. (Pliny the Elder once wrote an ode to concrete “that as soon as it comes into contact with the waves of the sea and is submerged becomes a single stone mass, impregnable to the waves.”) But it's not the complete picture: It's one thing to assemble the ingredients, another to know how to bake the cake.

To that end, Jackson and her colleagues peered into the microscopic structures of concrete samples, extracted from the sea walls and piers as part of a project called the Roman Maritime Concrete Study. “This rocklike concrete is behaving, in many ways, like volcanic deposits in submarine environments,” Jackson said.

Where modern concrete is designed to ignore the environment, Roman concrete embraces it. As the scientists report in a study published Monday in the journal *American Mineralogist*, Roman concrete is filled with tiny growing crystals. The crystals, like tiny armor plates, may keep the concrete from fracturing. The scientists subjected the concrete samples to a battery of advanced imaging techniques and spectroscopic tests. The tests revealed a rare chemical reaction, with aluminous tobermorite crystals growing out of another mineral called phillipsite. Brune, who was not involved with the study, called the work a “significant accomplishment.”

He likened it to the scientists biting into a cake of mysterious flavor and determining that the baker used organically sourced dark chocolate. In this instance, the key ingredient proved to be seawater. As seawater percolated within the tiny cracks in the Roman concrete, Jackson said, it reacted with the phillipsite naturally found in the volcanic rock and created the tobermorite crystals. “Aluminous tobermorite is very difficult to produce,” she said, and requires very high temperatures to synthesize small amounts. Cribbing from the ancient Romans might lead to better production of tobermorite, which is prized for its industrial applications, she noted.



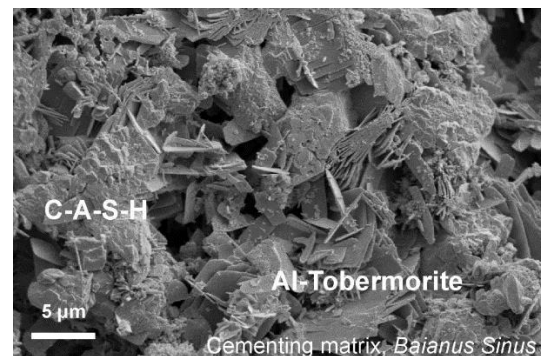
Crystals of Al-tobermorite growing within the Roman concrete. (Marie Jackson)

The Romans mined a specific type of volcanic ash from a quarry in Italy. Jackson is attempting to recreate this durable concrete using San Francisco seawater and more abundant volcanic rocks. She has several samples sitting in ovens and jars in her lab, which she will test for evidence of similar chemical reactions.

If her effort is successful, the concrete could yet have a role to play in human history — “if one was indeed interested in making sea walls” and “forced to protect shoreline environments,” Jackson said. (In one 2014 study, a team of European climate scientists predicted that, if the next 90 years follow the trend of the past 30, the cost of constructing barriers to hold back the sea might rise to as high as \$71 billion per year. The alternative, coastal flooding, could do trillions of dollars in damage annually.) Modern sea walls require steel reinforcements; a future in which “large relic walls of twisted steel” dot the coast would be “very troubling,” Jackson said. The Romans didn't use steel. Their reactive concrete was strong enough on its own.

Il y a deux mille ans, les romains ont construit de vastes digues et des jetées portuaires. Le béton qu'ils ont utilisé a survécu à l'empire et contient encore des leçons pour les ingénieurs modernes, disent les scientifiques. Un tas de structures à moitié englouties au large de la côte italienne peut sembler moins impressionnant qu'un colisée de gladiateurs. Mais sous l'eau, la merveille est dans le matériau. Le béton du port, un mélange de cendres volcaniques et de chaux vive, a résisté à la mer pendant deux millénaires. De plus, il est plus fort que lorsqu'il a été mélangé pour la première fois. La substance romaine est « un matériau extraordinairement riche en termes de possibilités scientifiques », a déclaré Philip Brune, chercheur scientifique chez DuPont Pioneer qui a étudié les propriétés techniques des monuments romains. « C'est le matériau de construction le plus durable de l'histoire de l'humanité, et je dis cela en tant qu'ingénieur non enclin à l'hyperbole. » En revanche, le béton moderne exposé à l'eau salée se corrode en quelques décennies. Le mystère a été la raison pour laquelle le matériel ancien a perduré. « Les archéologues diront qu'ils ont la recette », a déclaré Marie Jackson, experte en béton romain antique à l'Université de l'Utah. (Pliny l'Ancien a écrit un jour une ode au béton « qui, dès qu'il entre en contact avec les vagues de la mer et est submergé, devient une seule masse de pierre, imprenable aux vagues. ») Mais ce n'est pas une image complète : c'est une chose d'assembler les ingrédients, une autre de savoir comment faire le gâteau. À cette fin, Jackson et ses collègues ont examiné les structures microscopiques d'échantillons de béton, extraits des digues et des jetées dans le cadre d'un projet appelé Roman Maritime Concrete Study. « Ce béton ressemblant à une roche se comporte, à bien des égards, comme des dépôts volcaniques dans des environnements sous-marins », a déclaré Jackson. Là où le béton moderne est conçu pour ignorer l'environnement, le béton romain l'embrasse. Comme le rapportent les scientifiques dans une étude publiée lundi dans la revue *American Mineralogist*, le béton romain est rempli de minuscules cristaux en croissance. Les cristaux, comme de minuscules plaques de blindage, peuvent empêcher le béton de se fracturer. Les scientifiques ont soumis les échantillons de béton à une batterie de techniques d'imagerie avancées et de tests spectroscopiques. Les tests ont révélé une réaction chimique rare, avec des cristaux de tobermorite alumineux poussant à partir d'un autre minéral appelé phillipsite. Brune, qui n'a pas participé à l'étude, a qualifié le travail de « réalisation significative ».

Il l'a comparé aux scientifiques mordant dans un gâteau de saveur mystérieuse et déterminant que le boulanger utilisait du chocolat noir d'origine biologique. Dans ce cas, l'ingrédient clé s'est avéré être l'eau de mer. Alors que l'eau de mer percolait dans les minuscules fissures du béton romain, a déclaré Jackson, elle a réagi avec la phillipsite naturellement trouvée dans la roche volcanique et a créé les cristaux de tobermorite. « La tobermorite alumineuse est très difficile à produire », a-t-elle déclaré, et nécessite des températures très élevées pour synthétiser de petites quantités. Le cribbing des anciens Romains pourrait conduire à une meilleure production de tobermorite, qui est prisée pour ses applications industrielles, a-t-elle noté.



Cristaux d'Al-tobermorite poussant dans le béton romain. (Marie Jackson)

Les Romains ont extrait un type spécifique de cendres volcaniques d'une carrière en Italie. Jackson tente de recréer ce béton durable en utilisant de l'eau de mer de San Francisco et des roches volcaniques plus abondantes. Elle a plusieurs échantillons dans des fours et des bœufs dans son laboratoire, qu'elle testera pour trouver des preuves de réactions chimiques similaires.

Si son effort est couronné de succès, le béton pourrait encore avoir un rôle à jouer dans l'histoire de l'humanité – « si l'on était effectivement intéressé par la construction de digues » et « forcé de protéger les environnements côtiers », a déclaré Jackson. (Dans une étude de 2014, une équipe de climatologues européens a prédit que, si les 90 prochaines années suivent la tendance des 30 dernières années, le coût de la construction de barrières pour retenir la mer pourrait atteindre 71 milliards de dollars par an. L'alternative, les inondations côtières, pourrait causer des milliards de dollars de dommages chaque année.) Les digues modernes nécessitent des renforts en acier ; un avenir dans lequel « de grands murs reliques d'acier tordu » parsèment la côte serait « très troublant », a déclaré Jackson. Les Romains n'utilisaient pas d'acier. Leur béton réactif était assez solide par lui-même.