

## CAUSES ET EFFETS DE L'HUMIDITE SUR LES MONUMENTS ANCIENS DANS LES REGIONS TROPICALES

A côté du régime équatorial à fortes précipitations ininterrompues, rencontré dans les deux énormes cuvettes continentales du Congo et de l'Amazonie ainsi que dans les îles de l'Océan indien et du Pacifique occidental, de nombreux points de la zone équatoriale : (Pacifique central, Atlantique équatorial) ont des régimes pluviométriques fort différents.

Dans les zones tropicales, il y a un grand contraste entre l'Est des océans avec la façade occidentale des continents à saison des pluies courte, et l'ouest des océans avec la façade orientale des continents où les pluies totales sont presque aussi abondantes qu'à l'Equateur.

Remplaçant le Dr. LAL, nous aurions souhaité prendre comme exemple l'Inde que, nous ne connaissons hélas que très imparfaitement, aussi prendrons-nous le Cambodge qui nous est beaucoup plus familier et qui présente de nombreuses similitudes avec l'Inde dans le domaine qui nous intéresse.

Le Cambodge a un climat de mousson nuancé par le relief : chaîne des Cardamones et de l'Eléphant au sud, chaîne des Dangrek, plateau du nord-est et chaîne Annamitique au nord. C'est un climat tropical à saison sèche très nette. Durant une période de trois mois succédant à la mousson d'hiver, la température augmente progressivement jusqu'en mai. Au cours de la deuxième quinzaine de mai commence la saison des pluies qui dure jusqu'à la mi-novembre. La pluviométrie moyenne est de 1300 à 1800 mm. avec des maxima pouvant atteindre 2500 et même 3000 mm. pour les stations non protégées par le relief. A Siem-Réap, région qui nous intéresse plus particulièrement du fait que la majorité des monuments se trouvent rassemblés autour de cette localité, la moyenne est de l'ordre de 1500 mm.

La température monte régulièrement de décembre à avril. Le début de la mousson, en mai, augmentant la nébulosité, provoque un abaissement des températures qui va s'accroître en même temps que la pluviosité.

Les précipitations se font sous forme d'averses violentes avec deux maxima en mai-juin et septembre-octobre. Le Cambodge, s'étendant à peu près entre 10°-30' et 15° de latitude nord, est protégé des vents du nord-est par la chaîne Annamitique, ce qui fait que les températures et les autres facteurs climatiques varient relativement peu sur le territoire. A Siem-Réap, l'humidité relative moyenne passe de 77,1% en janvier à 88,9% fin septembre, début octobre. La température a un minimum moyen annuel de 22° et un maximum de 32°3, le maximum mensuel se trouvant en avril au voisinage de 35-36°.

Dans ces conditions, que va-t-il se passer sur les monuments? Les averses violentes vont avoir une action mécanique immédiate, particulièrement marquée sur les monuments les plus exposés, un exemple en est fourni par le Phnom Krom, situé sur une colline parfaitement dégagée.

A l'action mécanique s'ajoute l'action chimique. Les pluies tropicales s'accompagnent presque toujours de phénomènes orageux et, de ce fait, les eaux de précipitation se trouvent chargées d'ions nitreux et nitriques et sont donc très solubilisantes pour de nombreux éléments labiles de la pierre. Celle-ci va donc se trouver abondamment lessivée.

D'autre part, certains défauts de construction vont jouer un rôle non négligeable. Le temple khmer, généralement pyramidal, est construit sur un cône de remblai dans lequel a été enchassé un soubassement en poudingue latéritique sur lequel les murs d'élévation en grès sont montés. Les blocs de grès sont appareillés par rodage, sans liant.

La multitude de gradins et terrasses, de galeries pourtourantes dont les voûtes à encorbellement sont fort peu étanches, crée autant de collections d'eau stagnante. Pendant une grande partie de la saison des pluies, le pays est inondé et la base des monuments baigne littéralement dans l'eau.

Les grès utilisés sur ces monuments sont assez poreux et s'imbibent fortement d'eau.

Nous verrons tout à l'heure les conséquences secondaires de cette impregnation mais il en est une immédiate : l'affaiblissement des qualités mécaniques de la roche, la résistance à la pression du grès sec, qui varie entre 700 à 1500 kg/cm<sup>2</sup>, tombe à 150-350 kg/cm<sup>2</sup> pour le même grès saturé d'eau. Ceci ne serait rien pour des blocs bien employés et correctement mis en place mais devient grave pour les linteaux surchargés (l'arc de décharge n'est apparu que tard au Cambodge) et des piliers posés en délit et soumis à de fortes pressions. C'est alors que s'établissent des altérations profondes: détachement de blocs géométriques et délitage

donnant à certains blocs l'aspect d'un livre entrouvert.

Les conséquences secondaires sont chimiques et biologiques. L'eau qui circule dans la pierre, venant du sol, des flaques des terrasses et gradins ou par ruissellement, entraîne les éléments solubles de la pierre : alcalins, alcalinoterreux, voire même certains éléments lourds solubilisés sous forme de nitrites, nitrates ou formant des chélates organométalliques. Ces éléments viennent s'accumuler en surface, ou au voisinage de celle-ci, aux points de forte évaporation, c'est-à-dire les plus exposés à la lumière solaire.

Cette accumulation peut avoir des effets divers :

- si les sels se cristallisent, il y a désagrégation de la pierre à l'endroit où se fait cette cristallisation.
- Sur un des temples des environs du parc d'Angkor, le temple de Banteay Srei, se produit un phénomène assez curieux. Le grès rose de ce monument contient du fer et du manganèse. Ces métaux s'accumulent en certains points de la surface, s'oxydent et de larges taches noires, d'une pellicule dure étroitement liée au grès sous-jacent, d'oxydes métalliques, font leur apparition.

D'autre part aussi bien par cette accumulation de sels minéraux que par l'apport de matières organiques par les eaux venant du sol ou les eaux de ruissellement qui se chargent abondamment de ces substances sur les parois souillées par le guano de chauves-souris, certains micro-organismes vont trouver un terrain favorable à leur développement et concourir à l'altération du grès.

Bactéries nitrifiantes : sans vouloir nier le rôle de ces organismes, nous n'avons pas observé au Cambodge de lésion spectaculaire qui leur soit imputable.

Thiobactéries : beaucoup plus dangereuses sur les monuments du parc d'Angkor et de Sambor. Ces bactéries oxydent le soufre (qui se trouve sous forme réduite dans les eaux de remontée ou celles chargées de guano). Les ions SO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub> produits par cette oxydation donnent du sulfate de calcium aux dépens de la roche, ce sulfate se cristallise sous forme de gypse désagrégeant la pierre, et des lésions profondes s'établissent ainsi.

Nous avons relevé la présence très fréquente d'Actinomycètes dans les lésions. Le rôle de ces organismes n'est pas encore totalement élucidé mais il semble hors de doute qu'ils contribuent à la dégradation du grès.

Notons enfin que l'humidité favorise l'installation des mousses, algues et lichens qui s'ils n'ont pas, à de rares exceptions près, d'action directe sur leur support, freinent néanmoins l'évaporation.