

Le système sol-monument

Propositions pour une approche intégrale

R. JAPPELLI

Université de Rome

« Tor Vergata »

Département de génie civil

Rome

Cet article est dédié à Jean Kerisel[†], savant illustre, précurseur des études géotechniques sur les monuments, promoteur et inspirateur de la Commission internationale ISSMFE pour la sauvegarde des monuments et des sites historiques.

Résumé

L'article aborde quelques questions générales sur la compatibilité entre les différentes parties (structures, fondations, sols de fondations) de systèmes physiques complexes devant être sauvegardés pour longtemps. La réalisation d'une coexistence harmonieuse entre des constituants d'origine et de composition différentes demande un dialogue rigoureux. Différents facteurs ainsi que des incertitudes apparaissent dans l'identification des facteurs critiques. Les incertitudes prennent de l'importance lorsque les phénomènes dépendent du temps, comme c'est le cas pour les monuments anciens. Les démarches suivies pour l'étude de monuments sont présentées. L'importance d'une vision d'ensemble ou holistique dans les problèmes d'interprétation et de prévision du comportement de systèmes complexes est présentée. L'approche recommandée s'appuie sur plusieurs disciplines. Elle ne peut se baser que sur des procédés progressifs, soutenus par de solides observations, comme cela est fait dans les nouvelles méthodes intégrées.

Soil-monument system

Abstract

Paper deals with some general questions concerning the known problem of compatibility of the different parts (elevation, foundation, ground) of complex physical systems, such as the monuments determined for long-term safeguard. The attainment of harmonic coexistence requires a difficult dialogue between constituents of diverse origin and composition. Different factors come into play in such a dialogue and a number of uncertainties arise in identification of critical factors. Uncertainties become more serious when phenomena are time dependant as it is always the case for monuments. The paper dwells upon the steps of design procedure applied to existing monuments and underlines the importance of an holistic philosophical approach to the interpretation and the forecasting of complex system performance; the recommended approach requires the contribution of different disciplines and can only be based on a gradualism of the measures supported by a sound observational method as delineated by the sophisticated modern versions.

NDLR : Les discussions sur cet article sont acceptées jusqu'au 1^{er} avril 2006.

1

Introduction

Dans le large éventail des activités des ingénieurs civils et des architectes, une attention particulière est accordée de nos jours aux structures, dont le nombre, l'âge et l'extension est en augmentation. C'est pourquoi, le problème, inhérent à la conservation des édifices par des moyens appropriés, est devenu si pressant et de plus en plus spécifique. Sa résolution soulève maintes polémiques, en raison de nombreuses causes reconnues, empêchant la garantie d'un degré acceptable de sécurité, dans la durée, de ce patrimoine hétérogène et démesuré.

Le problème se pose dans toute son acuité lorsqu'il s'agit de *monuments* (M). Ces derniers, par leurs origines, par certaines de leurs particularités – intrinsèque, historique ou artistique – ou encore par leur valeur acquise, représentent d'irremplaçables témoignages du passé. La société est favorable à leur conservation mais souhaite, dans la mesure du possible, en assurer la jouissance à un nombre toujours croissant de visiteurs. A ce titre, le Colisée qui, contrairement au passé (Fig. 1a), est chaque jour pris d'assaut par des milliers de touristes (Fig. 1b), et la Tour de Pise, temporairement fermée en 1989 pour des raisons de sécurité (Jappelli et al., 1989) en sont des illustrations ; après une série de travaux de stabilisation sophistiqués qui ont duré près de dix ans et de longues réflexions et de multiples débats, la Tour est rouverte au public de façon limitée (Viggiani, 2001).

La sauvegarde des monuments et des sites historiques est en effet l'un des problèmes les plus épineux que la civilisation moderne doit résoudre. Bon nombre de facteurs de nature très différente appartiennent à des domaines (les sciences humaines, le culturel, le social, le technique, l'économie et le domaine administratif) dont les finalités, d'une inextricable complexité, s'imbriquent intimement. C'est pourquoi, les différents aspects du problème – l'aspiration culturelle et l'exigence de sécurité, l'intérêt public et les intérêts privés – sont l'objet d'âpres controverses.

2

Analyse du système sol-monument

Le problème principal consiste à vérifier l'existence d'un rapport satisfaisant entre le bâti visible (S), le sol (T) et les fondations (F). La structure (S) d'un monument du passé est un système physique essentiellement formé de fragments ou de blocs de pierre, *artificiellement* disposés selon un dessin géométrique relativement simple, séparés par des joints aux interfaces parfois structurées (maçonnerie). Le sol (T) est constitué de matériaux rocheux meubles, de pierres de taille ou de ces deux éléments ; ces derniers sont *naturellement* structurés en fonction d'objectifs plus complexes que les précédents et sont d'ordinaire associés à des matériaux rocheux meubles et à des pierres aux jonctions très compliquées (Kerisel, 1977) ; le (T) est souvent saturé d'eau.

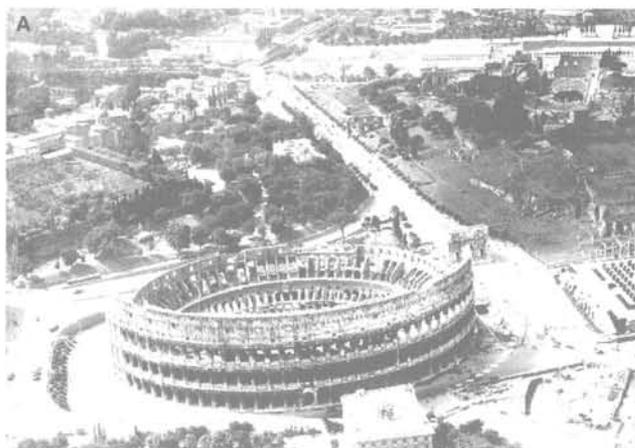


FIG. 1 L'amphithéâtre Flavien (Colisée) à Rome, construit au I^{er} siècle ap. J.-C.

a) Vue aérienne de la Via dei Trionfi, en 1939 ;

b) Pris d'assaut par les touristes, en 2002.

The Flavian Amphitheatre (Colosseum) was built in Rome in the first century A.D.

a) Aerial view from Via dei Trionfi in 1939 ;

b) The monument under the tourist pressure in 2002.

Les fondations (F) sont des structures profondément enterrées dans le (T) ; elles ont pour fonction de transférer à ce dernier les poussées provenant du (S) ; dans ce but, les (F), dans leurs multiples composantes, doivent selon les cas, assurer des fonctions géotechniques spécifiques de *support*, de *répartition des charges*, de *drainage*, de *filtrage*, d'*imperméabilisation*, de *protection* etc., afin de garantir, en tout état de cause, un rapport de compatibilité satisfaisant entre (S) et (T).

Comme pour toute construction, les (S) d'un (M) sont liées au site sur lequel elles sont édifiées, autrement dit au (T). Ce dernier fait donc partie intégrante de (M), dont il est même parfois l'élément structurant principal :

O Sennora, ist auch die Stadt Amsterdam so schön, wie Ihr gestern und vorgestern und alle Tage erzählt habt, so ist doch der Boden vorauf sie ruht noch tausendmal schöner...

« Oh ! Madame, si la ville d'Amsterdam était belle autant que vous m'en avez fait le récit, hier, avant-hier et les autres jours, le sol sur lequel elle est posée serait mille fois plus beau... »

H. HEINE, *Der Rabbi von Bacherach*, 1840

Les propriétés mécaniques des matériaux rocheux meubles et/ou des pierres dans leur environnement naturel (T), sont très différentes de celles des pierres utilisées comme matériau destiné à la construction de murs (S); de même, les matériaux servant aux (F) ont eu souvent une structure différente de ceux du bâti (S) ou du (T). Il existe donc de brusques discontinuités des propriétés mécaniques aux liaisons non seulement entre (F) et (S), mais également entre (F) et (T). Ces discontinuités ont une incidence non négligeable sur le comportement de l'ensemble du (M) et en marquent souvent le destin. La fonction première des (F) est celle d'abolir ou du moins d'atténuer ces discontinuités mécaniques entre (S) et (T):

« For once, we are escaping from the traditional path and in so doing, we are building a bridge between Soil Mechanics and Rock Mechanics. It is a fact that in some countries the activities of these two disciplines are widely separated, whereas we know that they are no discontinuities between soil and rocks... »

J. KERISEL, 1977

Sur le long terme, chacun des éléments d'un (M) peut se modifier – indépendamment l'un de l'autre – par rapport à l'assise d'origine, sous l'influence de nombreux facteurs, naturels et anthropiques, qui conduisent souvent à des effets diamétralement opposés. En conséquence, l'aspect d'un (M) aujourd'hui peut ne pas être semblable à celui qu'a imaginé l'auteur du projet original (Fig. 2). En outre, pour chacun de ces trois éléments, l'évolution de ces phénomènes peut être inégale dans le temps. Les modifications que subissent le territoire (Fig. 3) et les édifices sont évidentes: par exemple celles que décident les constructeurs lors des travaux d'édification afin de corriger certains défauts de conception, notamment ceux ayant trait au (T) (Fig. 4); moins évidentes, en revanche, sont celles qui se réfèrent aux (F) et au (T) situés sous la surface topographique et dont la vitesse de déformation est différente.

« ...the question of long-term deformations, one of the least explored areas of our discipline... »

J. KERISEL, 1985

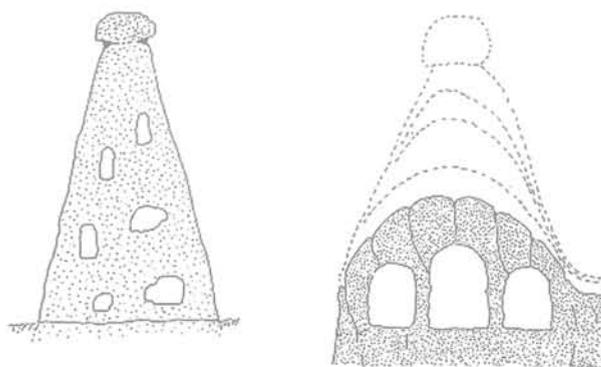


FIG. 2 Églises rupestres dans la vallée de Göreme, Cappadoce, en Turquie: évolution des structures par érosion naturelle: déformations des pinacles de forme conique à la celle de dômes (Bowen, 1988).

Rupestrian churches in the Göreme Valley, Cappadocia, Turkey: evolution of the ground profile consequent to natural erosion from conic pinnacles to domes (from Bowen, 1988).

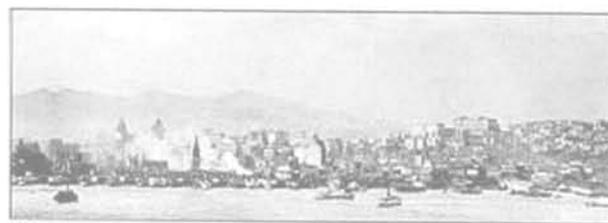


FIG. 3 Les transformations de la ville de San Francisco de 1915 à 1986. The transformation of the City of San Francisco since 1915.

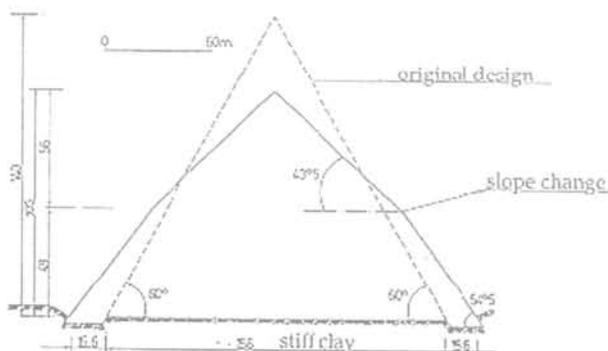


FIG. 4 Corrections du profil de la pyramide de Dahchur en Égypte en cours d'exécution pour en éviter l'effondrement (J. Kerisel, 1996). The profile conformation of the Dahchur pyramid in Egypt to prevent collapse during construction (from J. Kerisel, 1996).

Ces transformations peuvent également se produire en raison d'événements naturels ou du fait de l'homme. Les éboulements et les lésions mineures altèrent la structure du (T) qui peut se trouver compromis par des installations hydrauliques (aqueducs, réseaux d'égouts, drains, conduites de gaz) ou par d'autres ouvrages, petits ou grands (galeries, tranchées, puits), au service du (S) ou de la collectivité urbaine. Le réseau de canalisations souterraines (conduites de gaz, d'eau, réseaux d'égouts, etc.) peut être soumis à de cotes piézométriques différentes de celles du (T) environnant ; ce fait est souvent à l'origine de dégradations dues à la circulation des fluides : ruptures des conduites ou occlusions modifiant à leur tour l'écoulement des eaux et l'état de sollicitation du (T). D'autre part, la phase de conception et d'édification des monuments coïncide rarement avec les échéances strictement établies par l'ensemble des opérations techniques et administratives. Autrefois, comme de nos jours d'ailleurs, les travaux de construction subissaient des retards ou des suspensions dus notamment à l'interruption des financements, au comportement versatile des commettants, aux imprévus survenant en cours de travaux, aux impérities de la conception et de la réalisation des ouvrages. Ajoutons que la substitution des concepteurs, des maîtres d'œuvre, des conseillers, des maîtres de l'ouvrage, des adjudicataires, conduisait à des interruptions plus ou moins longues, suivies de modifications, parfois substantielles, du projet original.

La durée des travaux dépassait fréquemment l'arc d'une génération, si tant est que les maîtres d'œuvre d'antan mettaient en compte les risques de l'exposition aux intempéries des édifices inachevés, comme en témoignent les archives qui mentionnent les coûts supplémentaires entraînés par les interventions provisoires de protection de la maçonnerie.

Il arrive que les modifications subies dans le temps par (S), (F) et (T) conduisent à une interpénétration de (T) + (F) et (S) si profonde, qu'il est presque impossible de déterminer les limites physiques de ces éléments ou, comme le dit Eugenio Battisti, de distinguer la nature *artificiata* de la nature *naturata* (Fig. 5).



FIG. 5 Les fondations (F) et les structures (S) doivent être considérées comme partie intégrante de l'assise rocheuse (T), dont bien souvent elles ne se distinguent pas. L'illustration représente la petite ville de Calcata, dans le Latium.

Masonry constructions (S), foundations (F) and ground (T) can hardly be distinguished and should be considered integral parts of a single system. Figure illustrates the small village of Calcata (Latium) near of Rome.

On dit alors, au sens technique du terme, que (S), (F) et (T) sont si *fortement connexes* que le comportement de (F) + (S) dépend étroitement des phénomènes que subit (T) et vice versa. C'est pourquoi bon nombre d'états limites, observés en (S), découlent du comportement mécanique de (T) ; d'autre part, le comportement mécanique des structures d'un monument ancien est régi par des facteurs spécifiques tels que l'action de son propre poids dans le temps, les péripéties compliquées et souvent méconnues des modifications subies par les bâtiments au cours de leur histoire ; mais surtout, la sensibilité considérable acquise par les (S) au fil des interventions de réfection de l'édifice, notamment lorsque ces dernières ont été effectuées avec des matériaux dont les propriétés mécaniques sont différentes de celles utilisées à l'origine. La longue exposition aux divers facteurs environnementaux, physiques et chimiques, les effets des déformations subies et des actions géotechniques (fouilles, vibrations, séismes, subsidences, oscillations de la nappe phréatique, etc.) transmis au (T) (Fig. 6), sont la source de cette sensibilité particulière conduisant à une fragilisation des structures (S). A l'évidence, toute approche de conservation d'un (M) doit prendre en considération ces facteurs spécifiques, car leur incidence requiert des réponses appropriées aux problèmes complexes de conception. Leurs solutions dépendent de l'identification de points géotechniques *critiques* ; ceux-ci surgissent à cinq moments fondamentaux de la conception du projet de sauvegarde. Le premier point se manifeste au moment où l'auteur du projet est appelé à se prononcer sur les états limites structurels observés en (S), pouvant être attribués à des mouvements du sol (T). Le second se pose lorsqu'il devient nécessaire de préciser si un état limite *structurel* évident doit être attribué à un état limite *géotechnique*, caractérisé par un *mécanisme* au sein du sol (T).

La programmation et la mise en œuvre d'une *enquête* adéquate afin de déterminer le mécanisme que recèle le (T) représente le troisième type de problèmes qu'il est indispensable d'affronter. Le travail se poursuit par le choix d'un *renfort géotechnique*, capable d'accroître la sécurité de (S) vis-à-vis d'un tel mécanisme. Enfin, la dernière étape correspond à la laborieuse prévision des effets *indésirables* possibles d'une stabilisation géotechnique – par exemple une modification de (F) – sur un bâtiment *sensible*, notamment lorsque les travaux doivent se dérouler, comme il arrive, sans interrompre l'exploitation du (M). Cette dernière étape comporte l'évaluation de deux éléments :

- le taux de charge transférée sur une (F) modifiée ;
- les effets d'une modification de (F) dans la répartition des sollicitations auxquelles est soumise la (S), conçue à l'origine avec une (F) différente.

3

Les interventions de stabilisation

Les interventions de stabilisation géotechnique peuvent varier selon qu'il s'agit de prévention, de sauvegarde, de réhabilitation, de renforcement, de restructuration. Celles-ci visent en général à l'amélioration des rapports de (S) avec (F) + (T), accompagnés de mesures concernant (F) ou (T) ou les deux ; on les réalise selon des processus spéciaux qui font l'objet de la publication *Constructions géotechniques spéciales* (Jappelli,



FIG. 6 L'examen de sources historiques permet de détecter l'aggravation des affaissements sur le long terme.
 a) L'antique forteresse dite *Mastio di Mathilde*, à Livourne, du X^e siècle, agrandie par A. da Sangallo, comme elle apparaît de nos jours (*Rassegna dei Beni Culturali*, 4, 1990).
 b) Le même monument comme il apparaissait sur une photo de 1935 (tiré du volume *Toscana*, TCI, 1935).
 The long-term progress of settlements can be discovered by inspecting historical evidence: a) The old Fortress « Mastio di Matilde », in Leghorn dated X century, enlarged by A. da Sangallo, as it appears today (*Rassegna dei Beni Culturali*, 4, 1990); b) The same monuments in a picture of 1935 (from Vol. *Toscana*, TCI, 1935).

2001). Dans chaque cas de sauvegarde d'un (M), on doit procéder en tenant compte de tous les états limites structurels qui peuvent dépendre de mouvements du (T), en évaluant les incertitudes liées à chacun des points ci-dessus mentionnés.

En résumé, l'intervention ne peut être efficace que si les composantes structurelles et géotechniques du problème sont considérées dans leur ensemble; autrement dit, si le (T), les (F) et les (S) sont considérés comme parties intégrantes d'un unique ensemble physique (M) = (S) + (F) + (T) que l'on désignera ici sous l'expression *système sol-monument* (Fig. 7). Il est vrai que le respect de l'unité du problème, dans tout raisonnement théorique et pratique de l'aspect technique,

présente des difficultés, d'autant plus que le comportement de l'ensemble du *système sol-monument* dépend de la double interaction simultanée (T)-(F) et (F)-(S). C'est pourquoi, le système T + F + S est qualifié de *complexe*, car interagissent, en son sein, des parties physiques souvent mal connues, qui diffèrent par leur caractère ou leur importance. Elles répondent de manière très différente aux sollicitations externes et leur interaction régit le comportement de l'ensemble, d'une manière difficilement prévisible quant à la tendance ou à l'ampleur des effets. La question apparaît dans toute sa complexité lorsque l'on tente de réunir des bribes de données concernant des sous-systèmes (qu'ils soient visibles ou non) afin de discerner si l'une de leurs parties (S), (F) ou (T) – et laquelle – a joué un rôle prépondérant dans le comportement du (M), autrement dit du *tout* que l'on observe aujourd'hui et que l'on entend interpréter:

« I do think that we did more then focus on the difficulties presented by structurally complex materials. »
 J. KERISEL, 1977

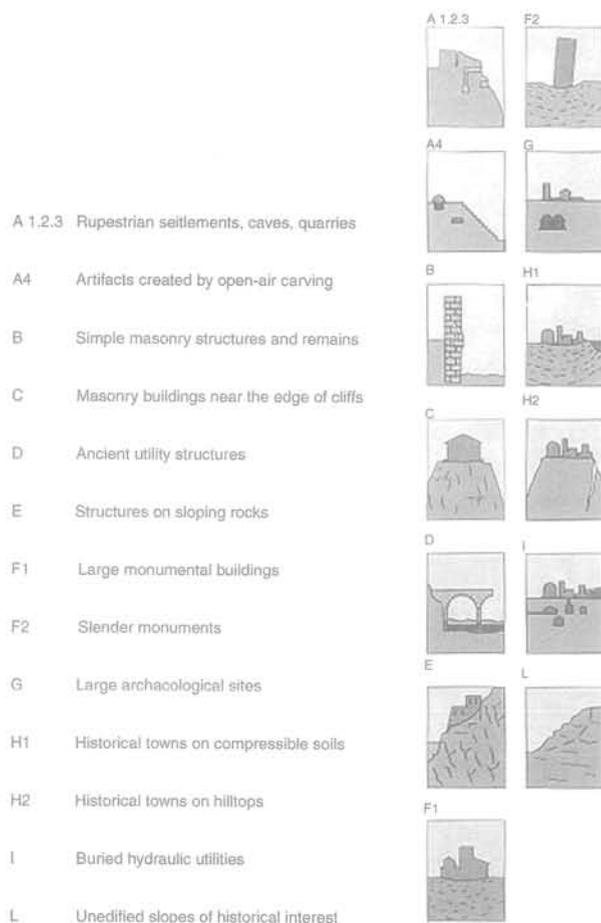


FIG. 7 Représentation schématique de systèmes caractéristiques (M) = (S) + (F) + (T) en situations géotechniques de complexité différentes entre les structures (S) et le sol (T) (tiré de Jappelli et al., 1991).

Schematic representation of typical systems (M) = (S) + (F) + (T) in geotechnical situations of different complexity concerning the relation between structures (S) and ground (T) (from Jappelli et al., 1991).

En raison des énormes difficultés rencontrées lorsqu'on envisage une solution rigoureusement unitaire, le fractionnement du problème en éléments plus simples est inévitable; cependant, toute évaluation ou prise en compte incluant dans (T) les (F) sous leur profil géotechnique d'une part et, d'autre part, ces mêmes (F) sous un point de vue structurel, devraient être recommandées et encouragées chaque fois qu'elles aboutissent à l'analyse et à l'élimination des causes des différences majeures qui subsistent entre les résultats des deux formulations. Les incertitudes résident essentiellement dans l'examen historique (origines, modifications) d'un monument et notamment de ses parties invisibles (F) et (T). Soulignons que les bâtisseurs et les auteurs de projets d'autrefois n'ont laissé de leurs idées et des détails concernant la réalisation de leur œuvres que bien peu de traces et si d'aventure, elles existent, elles s'avèrent incomplètes et trop sommaires dans le cadre d'une analyse moderne, notamment de (F) et (T); le temps passant efface le souvenir de ceux qui ont généreusement contribué à la rédaction de textes de synthèse historique; les descriptions de terrains dignes de foi font défaut. Les fondations furent conçues jadis sur de vagues intuitions nées le plus souvent de préjugés et d'hypothèses sans grand fondement (Jappelli et Marconi, 1996). Cependant, la reconstitution détaillée de l'évolution des transformations de (S) + (F), imprimées dans (T) comme dans un palimpseste, est essentielle pour la sauvegarde du (M); elle requiert un méticuleux travail de recherche des sources historiques et une enquête approfondie sur l'état actuel du bâtiment; dans certains cas, l'étude des propriétés mécaniques des terrains concernés peut aboutir indirectement à des résultats intéressants. Par conséquent, les recherches géotechniques associées à des recherches historiques contribuent à déchiffrer les transformations des monuments (S):

« Those ancient structures still standing carry a message, which it is for us to decipher. »

J. KERISEL, 1985

L'expérience montre que les méthodes d'approche conventionnelle ne permettent pas souvent d'établir un dialogue subtil entre les différentes parties du système sol-monument. Pour obtenir des résultats, l'adoption de stratégies non conventionnelles, comme le procédé *step by step*, autrement dit l'approche souple fondée sur l'observation, s'avère indispensable. Cette méthode (Terzaghi, 1961) est largement utilisée en Génie géotechnique dans des situations où prévaut l'incertitude. Elle ne se résume pas, en réalité, à une simple observation passive des événements; elle s'articule, au contraire, en une série pondérée d'opérations, récemment codifiées par les normes européennes. Dans cette optique, l'auteur d'un projet de sauvegarde développe, dans un premier temps, une recherche suffisamment approfondie pour aboutir à la définition des lignes générales de la structure et des propriétés les plus significatives des terrains environnants. Puis, sur la base des données encore incertaines dérivant des analyses, il délimite le cadre de la situation la plus probable, tout en envisageant parallèlement une ou plusieurs situations possibles plus dégradées que la précédente. Après la formulation de l'hypothèse du comportement fondée sur la réalité la plus probable, intervient l'élaboration de la solution principale du projet. Toujours en phase de conception, vient ensuite l'identification de la grandeur la plus significative à

soumettre au contrôle pendant les travaux, dont on prévoit les valeurs par calcul, en adoptant les hypothèses relatives à la situation la plus probable possible. Successivement, d'autres séries de calculs fondés sur des hypothèses de situations jugées défavorables, sont développées. A ce stade, des solutions *subsidiaries* sont perfectionnées sur la base de ces prévisions plus circonstanciées qui tiennent compte, comparées aux hypothèses précédentes, des discordances défavorables toujours possibles, des résultats. Les solutions *subsidiaries* doivent naturellement être pertinentes et compatibles avec la solution principale.

Enfin, les valeurs *admissibles* des grandeurs significatives, au-delà desquelles la solution principale perdrait sa validité, sont établies. Un plan de mesures de contrôle simples – afin de ne pas trop interférer dans les opérations de chantier – est proposé, accompagné notamment d'élaborations parallèles, qui permettent au cours de la mise en œuvre, une vérification immédiate de l'admissibilité de la solution principale. Dans le cas où les niveaux de sécurité établis ne sont pas respectés, on est alors en mesure d'intégrer, en temps réel, la solution principale et les solutions *subsidiaries*. Pour que cette stratégie donne de bons résultats, il est indispensable que les solutions *subsidiaries* soient déjà disponibles et élaborées dans les moindres détails du projet, et qu'elles soient approuvées et prévues dans un contrat souple. La méthode de l'observation a trouvé son application dans de nombreux cas:

– fixée dès le départ de manière à contrôler les situations défavorables prévisibles et prévues;

– en cours de travaux, lorsque des erreurs ou même des surprises sont à craindre;

– avec un ajustement progressif, lorsque les variantes sont introduites graduellement et successivement pour adapter les solutions aux situations rencontrées en cours de travaux.

Dans certains cas, en substitution d'une véritable intervention du Génie, cette méthode peut s'appliquer en ne mettant en œuvre qu'une correction du facteur que l'on tient sous contrôle, ceci, dans la double optique d'affiner le modèle d'interprétation et de contribuer à une plus grande sécurité. Cette stratégie peut porter ses fruits dès lors qu'après d'opportunes études approfondies, l'on ait mis en évidence le facteur prédominant à corriger. La *gradation*, qu'il ne convient d'adopter que dans le cadre d'un plan général, se justifie pour des interventions sur des systèmes hautement sensibles dont la réponse demeure incertaine, mais également pour d'évidentes raisons de prudence, comme dans le cas de la Tour de Pise. Cette stratégie, fondée sur l'adéquation continue des prévisions au comportement réel du système, suppose une capacité de prise de décisions rapides, une complète autonomie des organes responsables, une grande souplesse de l'aspect administratif; en définitive, elle n'a sa raison d'être que dans le cadre d'une révision permanente du projet de sauvegarde (Jappelli, 1999). Le développement de la science du comportement des (M) repose sur la quantité et l'intégration de connaissances spécifiques, contribuant à combler les lacunes en la matière. Il faut donc souligner l'importance des chroniques de cas particuliers (Aito Farulla, Battisti et Jappelli, 1988), étayés par un minutieux examen direct et une interprétation qualifiée, qui mettent en évidence les effets sur (S) des déplacements du (T) et toute autre trace utile à la restitution de l'assise originelle des sites historiques (Kerisel,

1996). Néanmoins, le compte rendu critique et l'interprétation des *case histories* doivent s'insérer dans un contexte historique général (Kerisel, 1987), seule issue possible qui permette d'objectiver les résultats extrapolés des cas particuliers et de parvenir à des critères et à des recommandations générales unitaires sur les recherches, dans le choix des projets et des calculs de vérification. Aussi, l'accumulation et l'intégration des connaissances concernant les monuments (M) sont-elles fondées sur un procédé graduel et souple : *learn as you go*. Dans le diagramme idéal du raisonnement (Fig. 8), les contributions des autres disciplines se greffent à des moments et à des étapes, décalés dans le temps. Ces apports, traduits en hypothèses provisoires, seront à valider et éventuellement à corriger, afin de tenir compte de tout concept nouveau susceptible de construire un ensemble de connaissances à partir d'éléments fragmentaires.

« I concì, una volta sciolti dalla concatenazione formale che l'artista ha loro imposto, rimangono inerti e non conservano nessuna traccia efficiente della unità in cui erano stati convogliati dall'artista. Sarà come leggere delle parole in un dizionario, quelle stesse parole che il poeta aveva raggruppate in un verso, e che sciolte dal verso, ritornano dei gruppi semantici e nulla più. »

C. BRANDI, 1977

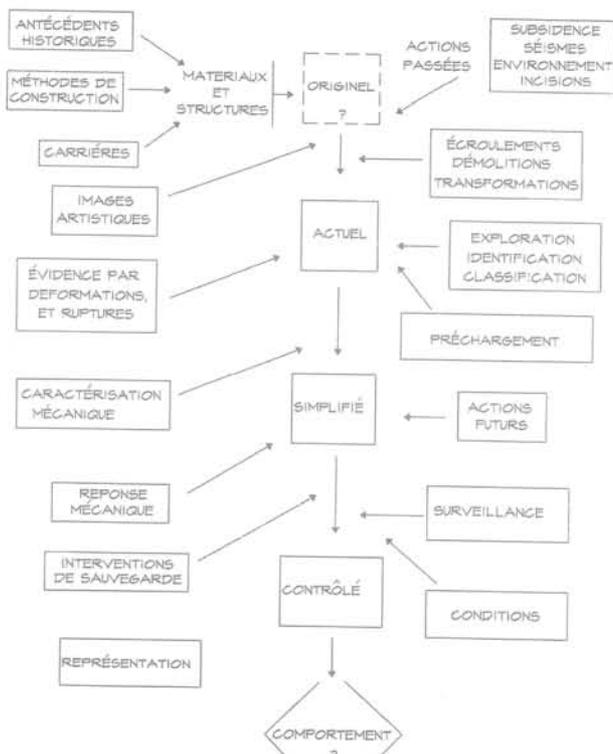


FIG. 8 Représentation schématique des étapes de la transition d'un système (M) = (S) + (F) + (T) de l'état d'origine à l'état de contrôle. Steps in the transition of a Ground-Monument System (M) = (S) + (F) + (T) from the original to the controlled situations.

Les hypothèses de travail préliminaires, issues d'autres domaines des sciences humaines (l'histoire, l'archéologie, etc.) seront graduellement validées, et progressivement corrigées sur le long terme, à la lumière d'éléments nouveaux concernant le comportement réel du système qui, inversement, pourra à son tour apporter un éclairage inédit sur des événements historiques et/ou donner des lignes directrices à des recherches archéologiques (Croce, 1985 ; Jappelli, 1996). Une tentative de ce genre est en cours depuis quelques années, pour le compte de la Surintendance archéologique de Rome, dans le cadre d'une étude élargie du Colisée, regroupant de nombreux spécialistes (chercheurs universitaires) dans cinq domaines : l'histoire, l'archéologie, les structures, la géotechnique, la représentation (Croci, Sommella, Manieri Elia, Docchi, Jappelli et al. 2000). La stratégie, fondée sur l'observation prolongée du comportement, tend à lier étroitement le chantier des travaux, à celui de la science, elle a l'avantage de freiner l'engouement de l'auteur d'un projet pour une solution particulière ; elle incite à l'abandon de solutions lorsque l'acquisition d'un grand nombre de connaissances débouche sur une impasse ; elle réduit le recours à des interventions pesantes qui sont parfois à l'origine de nouvelles requêtes de traitements *iatrogènes* visant à remédier aux dégâts causés par des interventions précédentes ; et enfin, elle favorise le débat, la réflexion et la critique constructive.

4

Conclusion

L'expérience montre que, pour des projets de longue haleine, le problème de la conservation des monuments doit être résolu, par l'adoption d'une philosophie fondée sur le principe de « la pensée minimale » qui récuse l'*ingénierie instantanée* et met sur pied une stratégie qui, tout en respectant le monument, privilégie une vision intégrée de l'espace physique et du temps historique, découlant d'une synthèse patiente et courageuse de toutes les composantes culturelles, y compris les apports des nombreuses disciplines hors de la sphère habituelle du Génie civil. Le recours à cette *stratégie* fortifie la confiance accordée aux grandes capacités du Génie civil et nourrit l'espoir de pouvoir encore longtemps contempler un monument, aussi endommagé soit-il (Macaulay, 1953). Du reste, la grandeur impérissable d'Athènes n'a-t-elle pas ses origines dans sa capacité de guider le progrès, faisant référence à ses racines historiques :

« Her citizens, imperial spirits, rule the present from the past. »

A.N. WHITEHEAD, 1929

En invoquant l'indulgence du lecteur pour la difficulté d'un thème peut-être trop ambitieux, le vieux professeur de géotechnique à la retraite que je suis, fait une fois de plus appel à la sagesse d'un *Maestro di colore che sanno* (titre donné par Dante Alighieri à Aristote, dans *les limbes, Divine comédie, livre de L'Enfer*) :

« The aging effect improves the quality of clays, not that of men. »

J. KERISEL, 1996

- Airo' Farulla C., Battisti E., Jappelli R. – Geotechnical engineering for the preservation of monuments and historical sites: the Italian case. *Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Restoration Works on Infrastructures and Monuments*, Bangkok, December 1988.
- Brandi C. – *Teoria del restauro*. Einaudi, 1977.
- Croce A. – Old monuments and cities. Research and preservation. *Geotechnical Engineering in Italy, an overview*, ISSMFE Golden Jubilee, AGI, 1985.
- Croci G., Sommella P., Manieri Elia M., Ducci M., Jappelli R., et al. – Il Restauro del Colosseo, Quaderno n° 1, Roma, Giugno, 2000.
- Jappelli R., Airo' Farulla C., Bosco G., Buono R., Casciato M., Cinque G.E., Croce P., Ercoli L., Rizzo S., Tascio M., Viggiani C. – The contribution of Geotechnical Engineering to the Preservation of Italian Historic Sites. *X European Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering*, AGI, Firenze, 1991.
- Jappelli R. – An integrated approach to the safeguard of monuments: the contribution of Arrigo Croce. *A. Croce Symp., Naples, in Geot. Eng. for the Preservation of Monuments and Historic Sites*, Balkema, Rotterdam, 1996.
- Jappelli R., Marconi N. – Recommendations and prejudices in the realm of Foundation Engineering: a historical review – *A. Croce Symp., Naples, in Geot. Eng. for the Preservation of Monuments and Historic Sites*, Balkema, Rotterdam, 1996.
- Jappelli R., et al. – Interdiction of the access to the Tower of Pisa, Workshop, Pisa July.
- Jappelli R. (1999) – *Principi di progettazione geotecnica*. Ed. Hevelius, 1999.
- Jappelli R. – *Le Costruzioni Geotecniche Speciali*. Hydrogeo, Rimini, Maggioli Ed., Maggio (a cura di D. Cazzuffi), 2001.
- Kerisel J. – Address. *Int. Symp. The Geotechnics of Structurally Complex Formations*, A.G.I., Capri, September 1977a, vol. II, p. 152.
- Kerisel J. – Concluding remarks. *Int. Symp. The Geotechnics of Structurally Complex Formations*, AGI, Capri, vol. II, September 1977b.
- Kerisel J. – The history of geotechnical engineering up until 1700. *Golden Jub. Book*, XI Conf. ISSMFE, San Francisco, Balkema, Rotterdam, 1985.
- Kerisel J. – *Down to earth. Foundations Past and Present: The invisible Art of the Builder*. Balkema, Rotterdam, 1987.
- Kerisel J. – Geotechnical problems in the Egypt of Pharaohs. *A. Croce Symp., Naples, in Geot. Eng. for the Preservation of Monuments and Historic Sites*, Balkema, Rotterdam, 1996.
- Macaulay R. – *Pleasure of ruins*. Weidenfeld and Nicolson, London, 1953.
- Terzaghi K. – Past and future of Applied Soil Mechanics. *J. Soc. Civ. Eng.*, April 1961.
- Viggiani C. – The Tower of Pisa is back to the future, in Springman S. (ed.) *Constitutive and centrifuge geotechnical modelling: two extremes*, Proceedings of the Workshop held at Monte Verità, Ascona, 8th-13th July (in press), Springer Verlag, 2001.
- Whitehead N.A. – *Universities and their functions. The Aims of Education*. The MacMillan Co., The New American Library, NY, 1949.